

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

Н. Н. Попок, В. И. Абрамов

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего
образования по специальностям «Технология машиностроения»,
«Технологическое оборудование машиностроительного производства»*

Новополоцк
ПГУ
2020

УДК 621(075.8)
ББК 34.5я73
П58

Рецензенты:

кафедра «Технология машиностроения» Белорусского национального
технического университета (зав. каф. – член-кор. НАН Беларуси,
д-р техн. наук, проф. *В. К. Шелег*);
проф., д-р техн. наук, проф. каф. «Технология машиностроения»
Белорусско-Российского университета *А. А. Жолобов*

Попок, Н. Н.

П58

Основы технологии машиностроения : учебное пособие /
Н. Н. Попок, В. И. Абрамов. – Новополоцк : ПГУ, 2020. – 272 с.
ISBN 978-985-531-651-1.

Рассмотрены понятия и положения основ технологии машиностроения, в частности – теории базирования и размерного анализа технологических процессов, точности и качества изготовления деталей машин и технологические методы повышения производительности труда и снижения себестоимости изделий. Приведены материалы лабораторных работ и практических занятий, структура, содержание и варианты заданий для самостоятельной работы.

Предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов и специалистов в области технологии машиностроения.

УДК 621(075.8)
ББК 34.5я73

ISBN 978-985-531-651-1

© Попок Н. Н., Абрамов В. И., 2020
© Полоцкий государственный университет, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВЕДЕНИЕ	7
1 ИЗДЕЛИЕ И ЕГО ВИДЫ. ОСНОВЫ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ЗАГОТОВОК	9
1.1 Виды изделий	9
1.2 Базирование и базы в машиностроении	10
1.3 Погрешность базирования заготовок	21
1.4 Понятия о служебном назначении изделия, об исполнительных и вспомогательных поверхностях	25
2 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ	27
2.1 Общие понятия о производственном и технологическом процессах ..	27
2.2 Классификация технологических процессов	29
2.3 Размер программного задания. Характеристики технологического процесса	31
2.4 Технологическая характеристика различных типов производства	32
3 КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ	37
3.1 Показатели качества изделий	37
3.2 Точность в машиностроении	38
4 СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ	41
4.1 Виды погрешностей	41
4.2 Кривые распределения контролируемого параметра и оценка точности обработки	42
5 ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	54
5.1 Погрешность установки и закрепления заготовок	54
5.2 Выбор технологических баз	59
6 ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ	66
6.1 Общие понятия и определения	66
6.2 Факторы, влияющие на величину припуска	68
6.3 Методы определения припусков	69
7 РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	74
7.1 Общие понятия о технологических размерных цепях	74
7.2 Назначение допусков	79
7.3 Припуски на обработку	80

8 МЕТОДЫ НАСТРОЙКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ	83
9 ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВКИ НА СТАНКЕ	93
9.1 Жесткость технологической системы	
«заготовка – инструмент – приспособление – станок»	93
9.2 Размерный износ инструмента	103
9.3 Тепловые деформации технологической системы	109
10 КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	116
10.1 Геометрические и физико-механические параметры качества поверхности детали	116
10.2 Технологическая наследственность	128
11 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ	133
11.1 Общие понятия	133
11.2 Мероприятия по повышению технологичности конструкций	134
11.3 Требования к анализу технологичности конструкции детали	138
12 ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	140
12.1 Основы технического нормирования	140
12.2 Структура затрат рабочего времени	142
12.3 Методы расчета себестоимости вариантов технологических процессов	146
13 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА И СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЙ	151
13.1 Снижение себестоимости изделий путем регулирования их количества	151
13.2 Сокращение расходов на материалы	152
13.3 Технологические основы увеличения производительности труда ..	153
13.4 Автоматизация производственных процессов	158
13.5 Типовые и групповые технологические процессы	159
13.6 Модульные и мобильные технологии	164
14 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	167
14.1 Расчет и экспериментальное определение погрешности базирования заготовок	167
14.2 Исследование точности изготовления деталей методами математической статистики	173
14.3 Исследование взаимосвязи размерной точности смежных операций технологического процесса	176

14.4 Исследование влияния износа режущего инструмента на точность обработки поверхности детали	184
14.5 Жесткость технологической системы и ее влияние на точность обработки	189
14.6 Настройка металлорежущих станков на выполнение технологических операций	197
15 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	202
15.1 Базирование заготовок при выполнении технологического процесса изготовления детали	202
15.2 Выбор комплекта единых технологических баз и оптимальной схемы базирования на первой операции механической обработки	206
15.3 Размерный анализ технологических процессов изготовления деталей	215
16 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ	227
16.1 Задание для выполнения самостоятельной работы	227
16.3 Содержание самостоятельной работы и требование к ее выполнению	228
16.3 Указания по отдельным частям самостоятельной работы	231
16.4 Указания по оформлению и содержанию графической части	235
ЛИТЕРАТУРА	236
Приложение А	238
Приложение Б	243
Приложение В	247

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемом учебном пособии по основам технологии машиностроения излагаются сложившиеся на сегодня передовые взгляды ведущих ученых-технологов, производственников, а также преподавателей, имеющих многолетний опыт проведения занятий по дисциплине «Основы технологии машиностроения» кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства» Полоцкого государственного университета.

Отличительной особенностью учебного пособия является комплексное рассмотрение теоретических основ технологии машиностроения и практических решений технологических задач, обеспечивающих повышение качества выпускаемых машин. При этом учитываются основные положения таких общетехнических дисциплин, как «Механика», «Инженерная графика», «Нормирование точности и технические измерения», «Материаловедение», «Теория резания» и специальных дисциплин «Технология машиностроения», «Технологическая оснастка», «Металлорежущие станки», «Режущий инструмент» и других.

Цель преподавания дисциплины заключается в привитии учащимся знаний теорий базирования и размерных цепей, расчета припусков и определения погрешностей механической обработки, управления технологическими факторами для практического применения при построении и анализе технологических процессов изготовления изделий машиностроительного производства.

В результате изучения дисциплины учащиеся должны получить навыки и уметь применять на практике:

- терминологию в соответствии с действующими стандартами;
- теорию базирования заготовок в машиностроении;
- методику выбора единых технологических баз для осуществления технологического процесса;
- основы теории размерного анализа технологических процессов;
- методику отработки конструкций изделия на технологичность;
- методы расчетов технически и экономически обоснованных припусков на обработку;
- методы выявления технологических факторов и управления ими с целью обеспечения требуемого качества и наименьшей себестоимости изделий.

Учебное пособие включает теоретические материалы по дисциплине и методические указания к выполнению лабораторных работ, практических занятий и самостоятельной работы учащихся.

Авторы благодарны рецензентам – члену-корреспонденту НАН Беларуси, профессору, доктору технических наук, заведующему кафедрой «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета Валерию Константиновичу Шелегу, доктору технических наук, профессору Александру Александровичу Жолобову за ценные замечания и пожелания, высказанные ими при составлении пособия.

ВЕДЕНИЕ

Машиностроение является ключевой отраслью промышленности. Особенно возрастает роль машиностроения в настоящее время, когда в силу высокой конкуренции на рынке очень быстро изменяются требования к повышению качества машин и производительность их изготовления.

Развитие машиностроения невозможно без достижений науки, в том числе по основам технологии машиностроения. Научные направления по основам технологии машиностроения формировались и развивались в тесной связи с экономическими циклами, установленными русским ученым С. Кондратьевым, и позднее в 90-х годах прошлого века названными Д.С. Львовым и С.Ю. Глазьевым технологическими укладами – совокупностью сопряженных производств, имеющих единый технологический уровень, охватывающих определенный исторический период.

Временной отрезок первого технологического уклада (1770–1830 гг.) совпадает с первой промышленной революцией. Были созданы первые прядильные машины. Новизна первого технологического уклада заключалась в механизации труда и создании поточного производства (строительство текстильной фабрики).

Второй и третий технологические уклады (1830–1930 гг.), характеризующиеся ростом масштабов производства и переходом от использования энергии пара к электричеству, способствовали обобщению накопленного технологического опыта в фундаментальных трудах русских ученых И. Двигубского (1807 г.), И.А. Тиме (1885 г.), И.А. Гавриленко (1911 г.), немецких ученых И. Бекмана (1780 г.), К. Кармаша (1825 г.), американца У. Тейлора (1900 г.).

Формирование четвертого технологического уклада (1930–1970 гг.), связано с развитием массового и серийного производства, автомобилестроения, использованием двигателей внутреннего сгорания, что обусловило необходимость систематизации знаний и опыта технологии машиностроения в научных трудах В.М. Кована (1938 г.), А.В. Яхина (1940 г.), А.П. Соколовского (1977 г.), А.И. Каширина (1949 г.), Б.С. Балакшина (1969 г.), С.П. Митрофанова (1970 г.) и других.

Пятый технологический уклад (1970–2010 гг.), связанный с развитием микроэлектроники, использованием атомной энергии и индивидуализации автоматизированного производства, привел к разработке ряда стандартов по терминам и определениям технологии машиностроения, изданию научных трудов и учебных пособий В.С. Корсаковым (1974 г.), П.И. Ящерицыным (1974 г.), И.А. Иващенко (1975 г.), А.А. Маталиным (1977 г.), М.П. Новико-

вым (1980 г.), В.В. Матвеевым (1982 г.), Г. Шпуром и Т. Штеферле (1989 г.), Ю.М. Соломенцевым (1986 г.), Е.С. Пуховским (1989 г.), А.П. Сусловым и А.М. Дальский (2002 г.) и других.

Шестой технологический уклад (2010–2050 гг.), базирующийся на развитии нано-, био- и аддитивных технологий, информатизации производства и искусственном интеллекте, способствует дальнейшему обобщению основных положений технологии машиностроения в трудах таких ученых, как В.И. Аверченков, Б.М. Базров, А.Г. Схиртладзе, И.П. Филонов, А.А. Жолобов, В.К. Шелег, М.М. Кане и других. При этом следует учитывать, что в 2010 году в развитых странах доля производственных сил пятого технологического уклада составляла 60 %, четвертого – 20 % и шестого – только 5 %. По интенсивности роста применения в производстве современного оборудования на первом месте находятся 3D-принтеры и автоматы, на втором месте электроэрозионные станки, многоцелевые станки и обрабатывающие центры, станки токарной и шлифовальных групп находятся на третьем месте.

В этой связи требуется формализация и программное обеспечение установленных закономерностей и расчетных зависимостей технологии машиностроения, создание информационной среды (интернет-технологии и т.п.), искусственного интеллекта (нейросети и т.п.) для управления технологическими процессами и на базе конвергенции знаний в различных сферах научной деятельности дальнейшее развитие теоретических основ технологии машиностроения.

1 ИЗДЕЛИЕ И ЕГО ВИДЫ.

ОСНОВЫ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ЗАГОТОВОК

1.1 Виды изделий

В технологии машиностроения решаются задачи, относящиеся к конечным этапам производства изделий, т.е. задачи, связанные с механической обработкой заготовок и сборкой изделий.

Согласно ГОСТ 2.101 **изделием** называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Различают следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты.

Деталь – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций или с нанесенным покрытием, независимо от вида, толщины и назначения покрытия, или изготовленные с помощью сварки, пайки, склейки.

Сборочная единица – это изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, пайкой, сваркой и т.д.).

Комплекс – два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций.

Комплект – два и более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект запасных частей, комплект инструмента).

В ГОСТ 2.101 с конструктивных позиций предусматривается деление изделий на виды.

С позиций организации технологического процесса изготовления или ремонта изделия сборочная единица может состоять из деталей и узлов.

Под **узлом** понимается составная часть изделия, которая может быть собрана обособленно от других элементов изделия.

В современном машиностроении сборка подразделяется на общую и узловую. Объектом общей сборки является изделие, объектом узловой сборки – его составные части. Элемент, с которого начинается сборка изделия (или его составной части), называется **базовым**.

По степени сложности различают узлы 1-го, 2-го и т.д. порядков.

Под **узлом 1-го порядка** понимается узел, в котором к базовой детали присоединены одна или несколько других деталей.

Под **узлом 2-го порядка** понимается узел, в котором к базовой детали присоединены одна или несколько деталей и хотя бы один узел 1-го порядка.

Сборочный комплект – это группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составной части (ГОСТ 3.1109).

Комплектующее изделие – это изделие предприятия-поставщика, применяемое как составная часть изделия, выпускаемого предприятием-изготовителем (комплектующими изделиями могут быть детали и сборочные единицы).

Сборочные единицы могут быть конструктивными и технологическими.

Конструктивная сборочная единица – это единица, спроектированная лишь по функциональному принципу, без учета особого значения условий независимой и самостоятельной сборки.

Технологическая сборочная единица – это сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия (или изделия в целом) и выполнять определенную функцию в изделиях одного назначения только совместно с другими составными частями.

1.2 Базирование и базы в машиностроении

В процессе изготовления изделий возникают задачи соединения с требуемой точностью двух или большего количества деталей. Такие задачи возникают при сборке и регулировке сборочных единиц, при обработке заготовок на различном технологическом оборудовании, когда деталь необходимо установить с заданной точностью на столе станка или в приспособлении.

Аналогичные задачи приходится решать при установке режущего инструмента в шпинделе станка, борштанге, резцедержателе, в приспособлении, а также каждый раз, когда необходимо произвести измерение размера детали или заготовки при помощи любого измерительного инструмента или приспособления. Те же задачи возникают при ремонте изделий и их эксплуатации.

Во всех этих случаях инструментам, заготовкам, деталям, сборочным единицам и средствам измерения придают вполне определенное положение в пространстве относительно выбранной системы координат.

Согласно теоретической механике требуемое положение или движение твердого тела относительно выбранной системы координат определяется наложением: 1) геометрических или 2) кинематических связей.

При наложении геометрических связей тело лишается трех перемещений вдоль координатных осей и трех поворотов вокруг этих осей, т.е. тело становится неподвижным в избранной системе координат.

Во втором случае связями обеспечивается заданное положение тела в системе координат в каждый рассматриваемый момент времени. Наложение двухсторонних геометрических связей достигается соприкосновением поверхностей тела с поверхностями других тел, к которым оно присоединяется, и приложением сил и пар сил для обеспечения контакта между ними.

Тело, ограниченное реальными поверхностями, может контактировать с поверхностями тел, определяющими его положение в общем случае лишь по отдельным элементарным площадкам, условно считающимися точками контакта.

Пример построения системы $O_1X_1Y_1Z_1$ при контакте тел по реальным поверхностям представлен на рисунке 1.1.

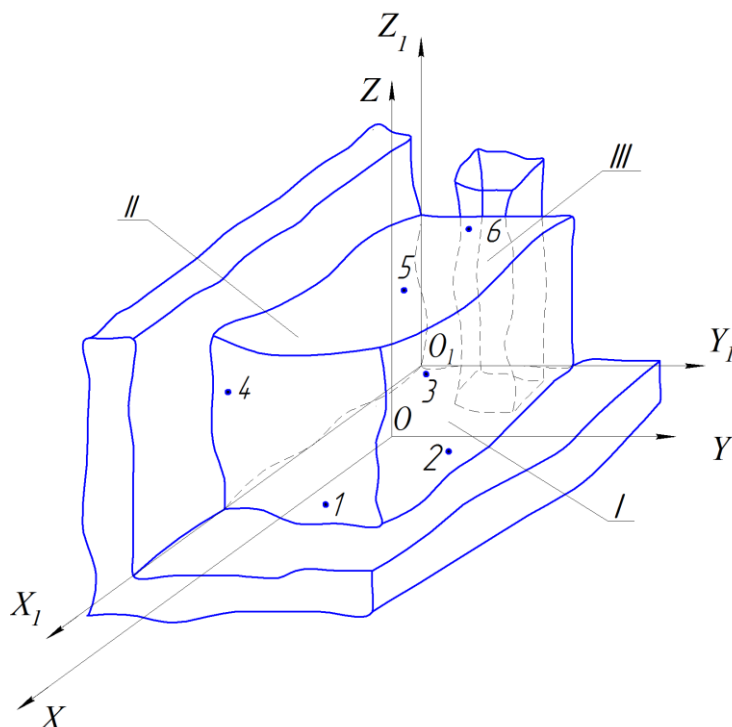


Рисунок 1.1. – Пример построения системы $O_1X_1Y_1Z_1$ при контакте тел по реальным поверхностям: *I* – установочная база; *II* – направляющая база; *III* – опорная база; 1–6 – точки контакта

Шесть связей, лишаящих тело движения в шести направлениях, могут быть созданы контактом соединяемых друг с другом тел в шести точках.

В случае идеализации формы поверхностей считается, что осуществление необходимых связей достигается контактом тел по поверхностям (геометрически правильным), а наличие реальных связей символизируется опорными точками, имеющими теоретический характер.

Опорная точка – точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с избранной системой координат.

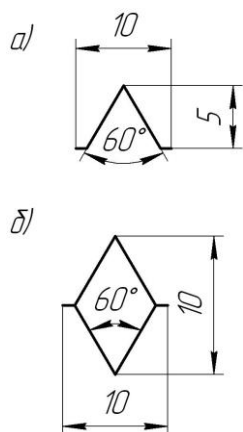


Рисунок 1.2. – Условное изображение опорных точек:
a – главный вид; *б* – вид сверху

В ГОСТ 21495-76 предусматривается условное изображение опорных точек, показанное на рисунке 1.2.

Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называется **базированием** (ГОСТ 21495-76).

Базой называется поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, осей, точек, принадлежащих заготовке или изделию и используемые для базирования.

Схема базирования – схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия (рисунок 1.3.).

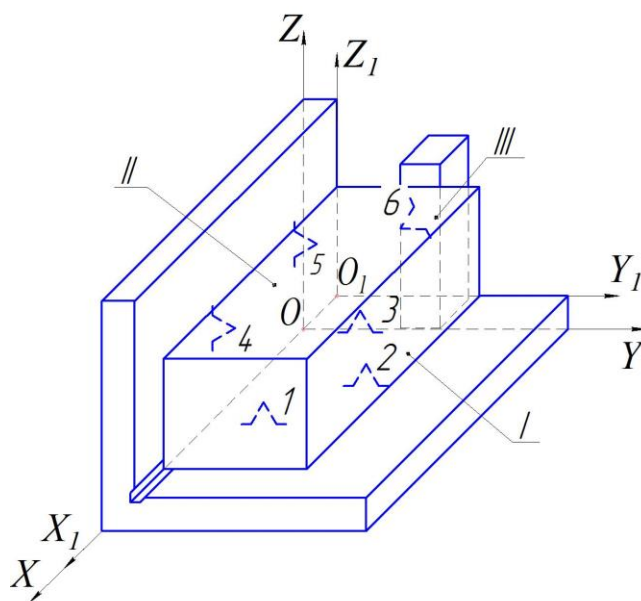


Рисунок 1.3. – Пример построения системы $O_1X_1Y_1Z_1$ при контакте тел по идеализированным поверхностям: *I* – установочная база; *II* – направляющая база; *III* – опорная база; *1–6* – опорные точки

Следует иметь в виду, что в качестве баз могут выступать как реальные поверхности, так и воображаемые плоскости симметрии, оси, линии или точки их пересечения.

Схема базирования призматической детали представлена на рисунке 1.4.

Совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия, называется **комплексом баз**.

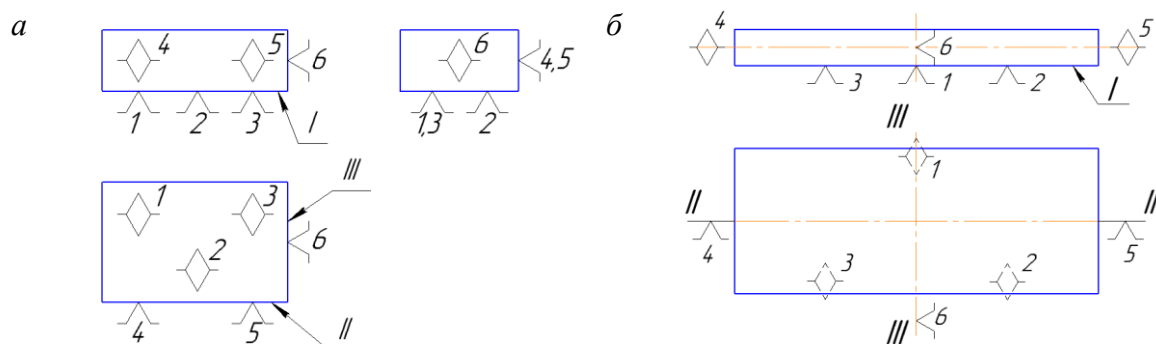


Рисунок 1.4. – Схема базирования призматической детали:
***a* – по реальным поверхностям; *б* – по воображаемым осям;**
***I, II, III* – базы; *1–6* – опорные точки**

Классификация баз

Базы в машиностроении классифицируются по 3-м признакам:

- по назначению;
- по лишаемым степеням свободы;
- по характеру проявления.

Схематически классификацию баз можно представить следующим образом.

А. По назначению

Конструкторская:

- основная
- вспомогательная

Технологическая

Измерительная

Б. По лишаемым

степеням свободы

Установочная

Направляющая

Опорная

Двойная направляющая

Двойная опорная

В. По характеру проявления

Скрытая

Явная

А. База по назначению.

Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Основная база – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии (рисунок 1.5).

Вспомогательная база – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия (рисунок 1.6).

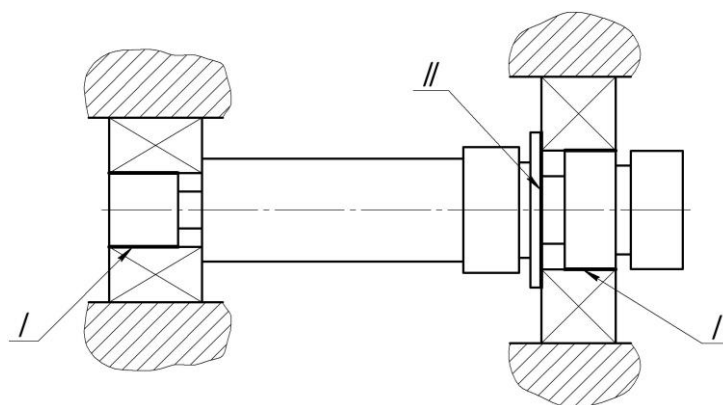


Рисунок 1.5. – Схема к определению основной конструкторской базы:
***I, II* – основные базы вала**

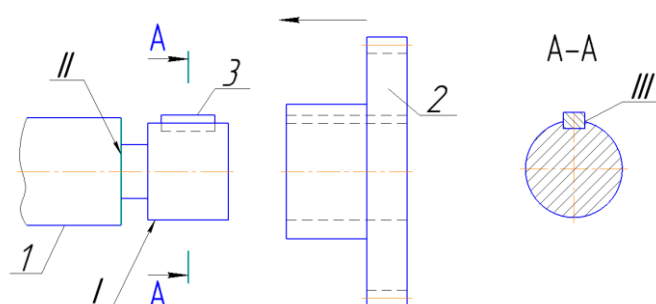


Рисунок 1.6. – Схема к определению вспомогательной конструкторской базы:
***I, II, III* – один из комплектов вспомогательных баз вала со шпонкой;**
***I* – базовая деталь; *2* – присоединяемая деталь; *3* – шпонка**

Технологическая база – база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта (рисунок 1.7).

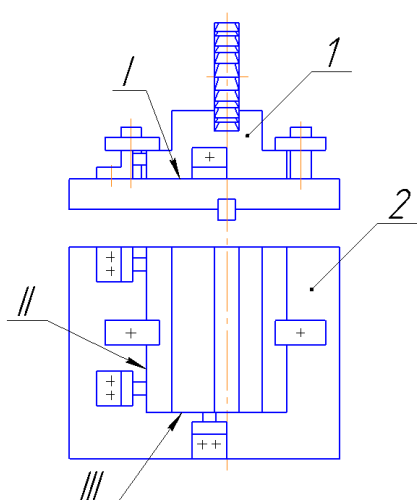


Рисунок 1.7. – Схема к определению технологической базы:
***I, II, III* – комплект технологических баз, определяющих положение заготовки в приспособлении; *I* – заготовка; *2* – приспособление**

Измерительная база – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения (рисунок 1.8).

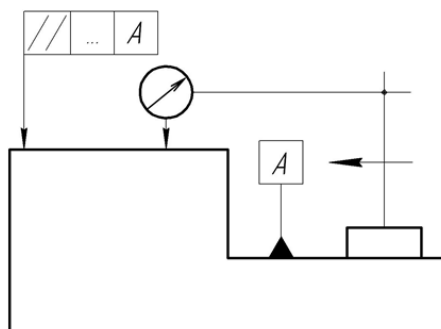


Рисунок 1.8. – Схема к определению измерительной базы:
А – измерительная база

Б. База по лишаемым степеням свободы (рисунок 1.9).

Установочная база – база, лишаящая заготовку или изделие трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей (см. рисунок 1.9, I).

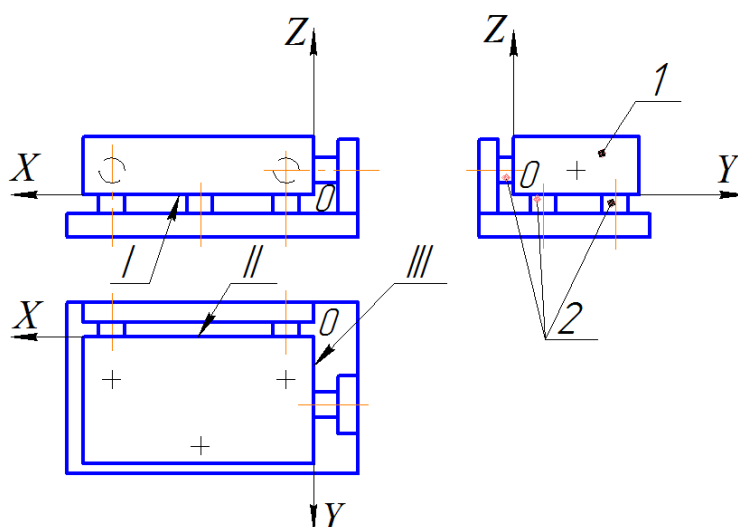


Рисунок 1.9. – Схема к определению баз по лишаемым степеням свободы:
I – установочная база; II – направляющая база; III – опорная база;
1 – заготовки; 2 – опоры приспособления

Направляющая база – база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси (см. рисунок 1.9, II).

Опорная база – база, лишаящая заготовку или изделие одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси (см. рисунок 1.9, III).

Двойная направляющая база – база, лишаящая заготовку или изделие четырех степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей (рис. 1.10.).

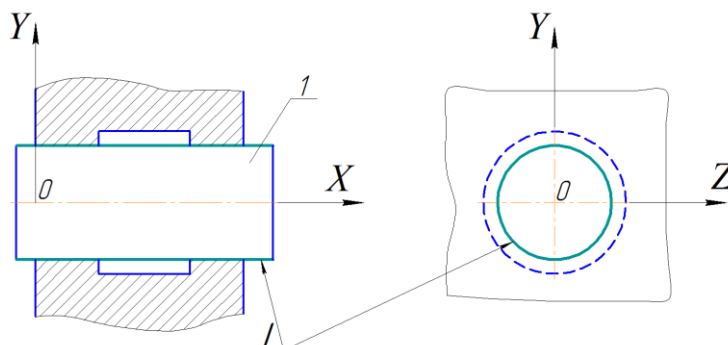


Рисунок 1.10. – Схема базирования с двойной направляющей базой:

I – двойная направляющая база детали; *I* – деталь

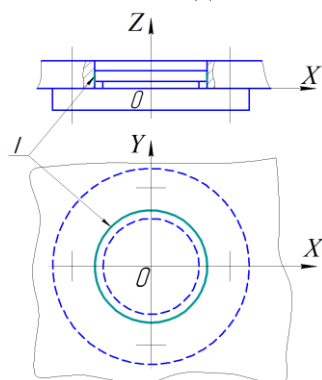


Рисунок 1.11. – Схема базирования с двойной опорной базой: *I* – двойная опорная база детали; *I* – деталь

Двойная опорная база – база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей (рисунок 1.11).

В. База по характеру проявления.

Скрытая база – база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки (рисунок 1.12).

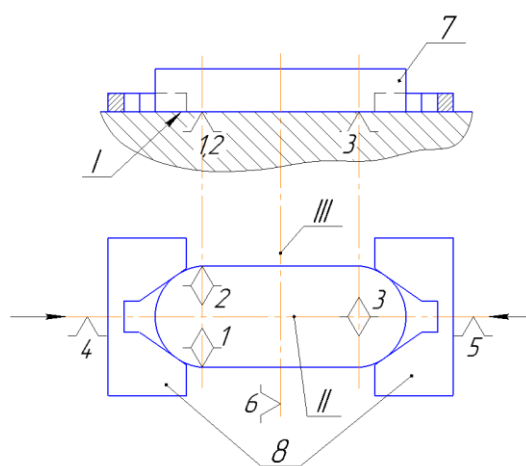


Рисунок 1.12. – Пример базирования по скрытой базе:
I – установочная явная база; *II* – направляющая скрытая база;
III – опорная скрытая база; *1–6* – опорные точки; *7* – заготовка;
8 – трубки призматических тисков

Явная база – база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Смена баз – преднамеренная или случайная замена одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным.

Все опорные точки на схеме базирования изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек, и далее по степени их уменьшения.

При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую изображается одна опорная точка и около нее проставляют номера совмещенных точек.

Число проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

Наиболее распространенные схемы базирования представлены на рисунках 1.13–1.23.

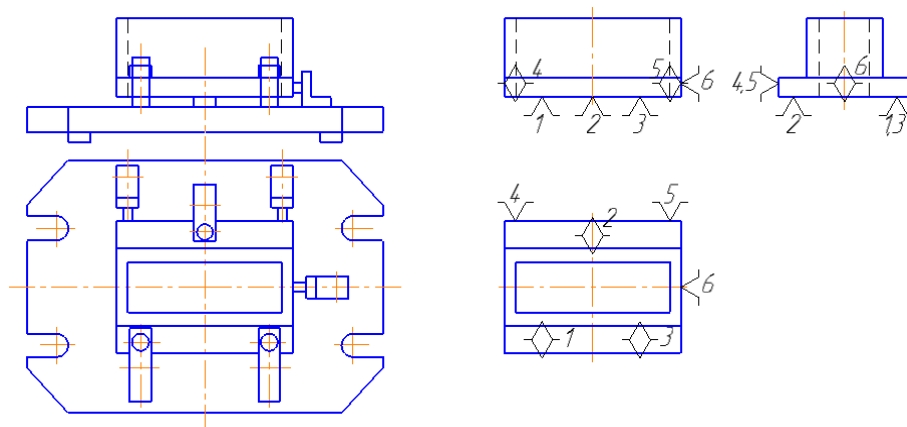


Рисунок 1.13. – Установка заготовки по плоскости основания и двум боковым сторонам: 1–6 – опорные точки

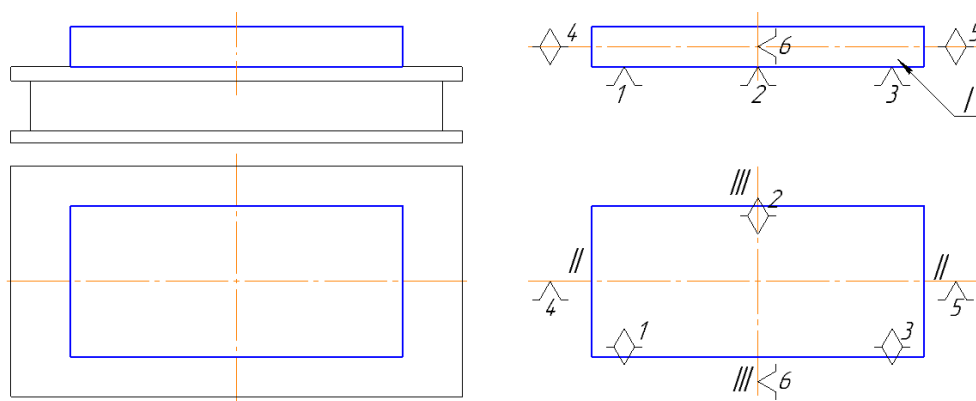
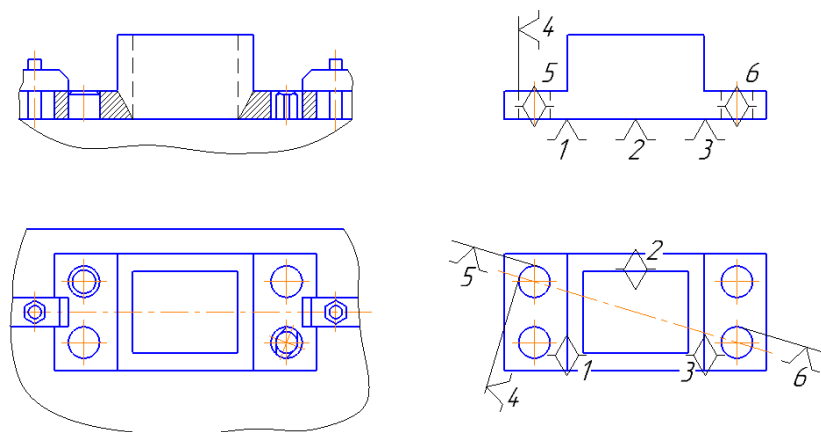
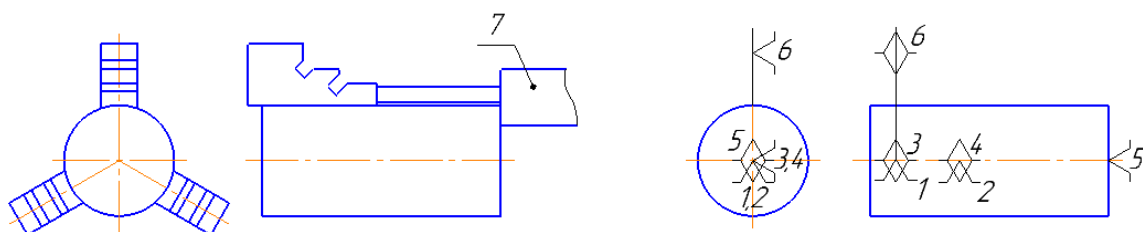


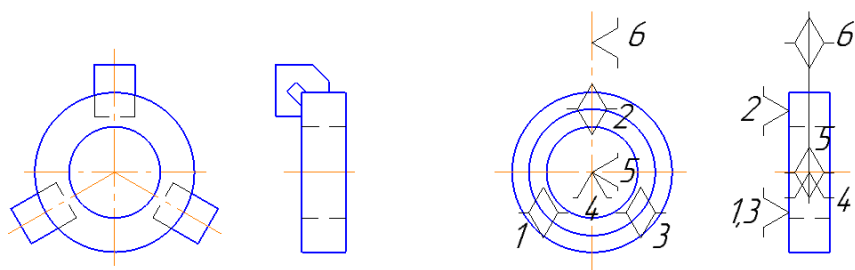
Рисунок 1.14. – Установка заготовки по плоскости (на магнитной плите): 1–6 – опорные точки



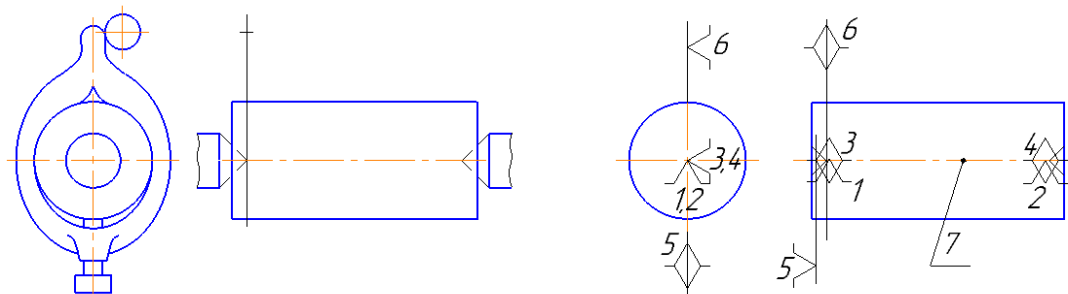
**Рисунок 1.15. – Установка заготовки по плоскости и двум отверстиям:
1–6 – опорные точки**



**Рисунок 1.16. – Установка вала в трехкулачковом самоцентрирующем патроне:
1–6 – опорные точки; 7 – штангенциркуль**



**Рисунок 1.17. – Установка диска в трехкулачковом самоцентрирующем патроне:
1–6 – опорные точки**



**Рисунок 1.18. – Установка вала в центрах:
1–6 – опорные точки; 7 – общая ось центровых отверстий**

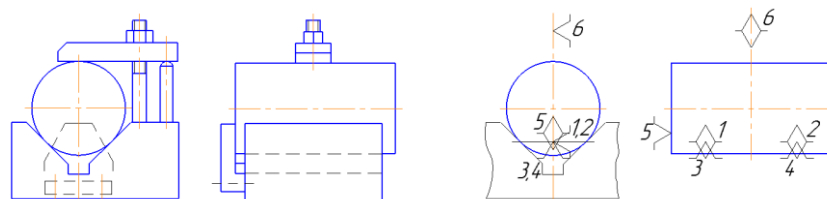


Рисунок 1.19. – Установка вала в призме: 1–6 – опорные точки

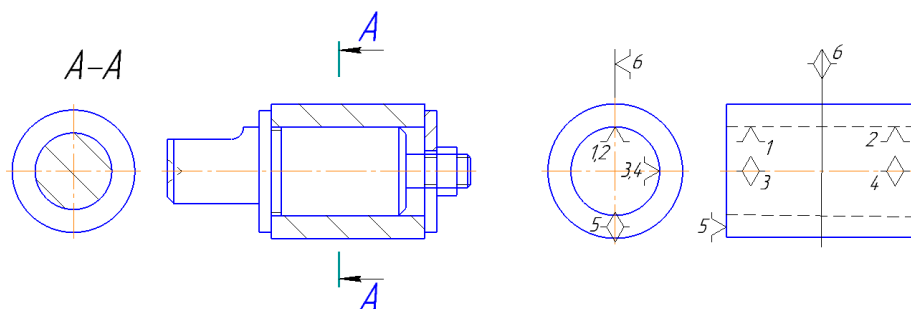


Рисунок 1.20. – Установка втулки на цилиндрической оправке (с зазором): 1–6 – опорные точки

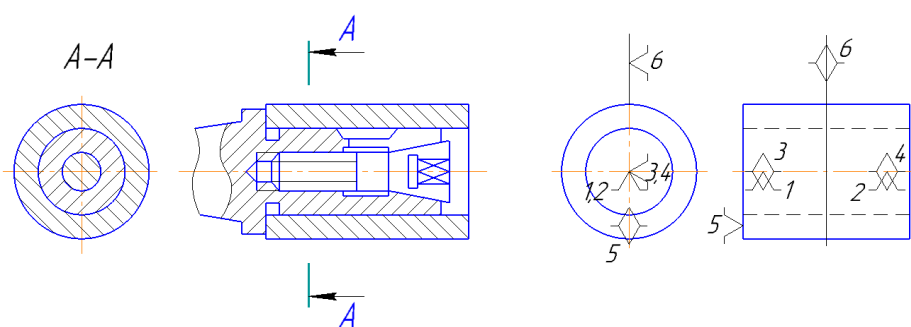


Рисунок 1.21. – Установка втулки на разжимной оправке (без зазора): 1–6 – опорные точки

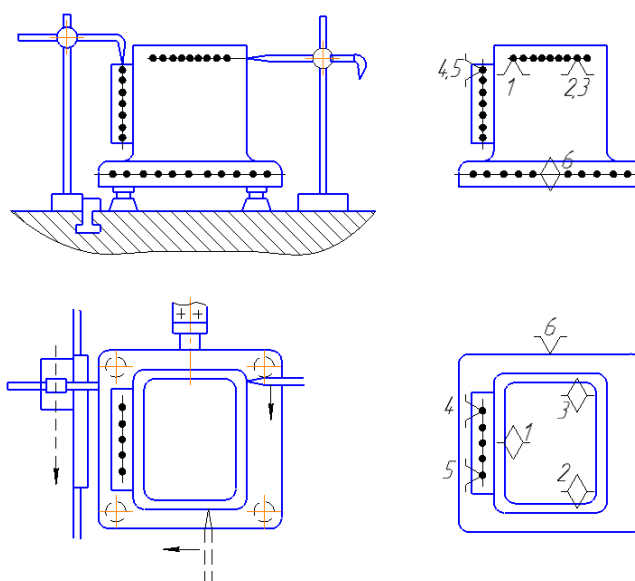


Рисунок 1.22. – Установка на станке заготовки корпусной детали с выверкой ее положения по разметочным рискам: 1–6 – опорные точки

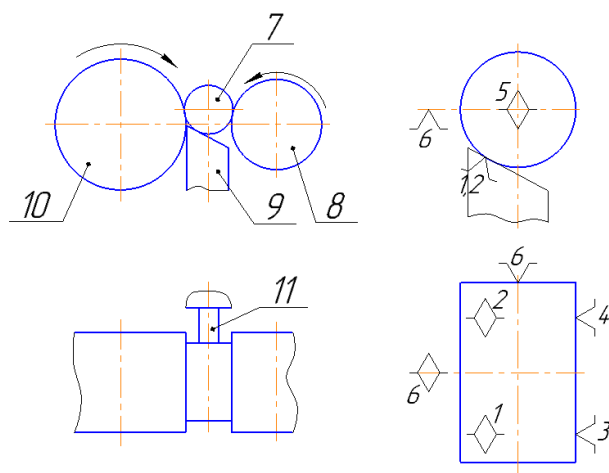


Рисунок 1.23. – Установка заготовки по обрабатываемой поверхности при бесцентровом врезном шлифовании: 1–6 – опорные точки; 7 – заготовка; 8 – ведущий круг; 9 – опоры; 10 – шлифующий круг; 11 – продольный упор

Приведенные выше основные понятия, определения и схемы базирования по ГОСТ 21495-76 основываются на теории базирования, разработанной под руководством профессора Б.С. Балакшина. В последующие годы (1981 и 1990 гг.) ГОСТ 21495-76 изменялся и переиздавался, а основные его положения получили развитие в работах известных ученых-технологов. Так, например, профессор А.А. Маталин предлагает в зависимости от решаемых технологических задач использовать одну, две или три базы, включающие в общей сложности три, четыре, пять или шесть опорных точек. Дополнительно вводятся понятия «настроечная» база, «идеальные», «фрикционные» и «избыточные» связи. С учетом этого подхода, например, схему базирования на рисунке 1.14 рекомендуется условно изображать с тремя идеальными односторонними связями. В реальных условиях необходимо считать, как отмечает профессор А.А. Маталин, что на заготовку наложены три односторонние и три фрикционные связи, лишаящие ее подвижности. Профессор Е.И. Махаринский утверждает необходимость разграничения понятий «база» и «базирование» применительно к конструированию, механической обработке, сборке и контролю. В развитие этой позиции применительно к автоматизированному проектированию профессором Н.Н. Попок и доцентом Н.В. Беляковым предложено подразделять базы на проектные и реальные. В свою очередь, проектные базы подразделяются на конструкторские и технологические, явные и скрытые, на оси и плоскости. Сочетание осей и плоскостей в прямоугольной системе координат определяет комплекты баз ориентации конструктивных элементов деталей. Таким образом, при решении задач базирования заготовок необходимо учитывать реальные условия и уровень автоматизации производства.

1.3 Погрешность базирования заготовок

При установке заготовки непосредственно на станке или в приспособлении для обработки достигаемая точность зависит от положения измерительной базы заготовки относительно режущего инструмента. Одной из причин неопределенности положения измерительной базы является **погрешность базирования**. Согласно ГОСТ 21495 под **погрешностью базирования** понимается отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого.

Погрешность базирования Δ_b возникает при несовмещении измерительной и технологической баз заготовки и определяется как предельное поле рассеяния ω_b расстояний между измерительной и технологической базами в направлении выдерживаемого размера.

Из сказанного следует, что погрешность базирования равна нулю при выполнении условий:

- 1) совмещения измерительной и технологической базы, к чему всегда следует стремиться при проектировании технологических процессов;
- 2) получение размера мерным инструментом (например, ширина прямоугольного паза при фрезеровании трехсторонней дисковой или концевой фрезой за один рабочий ход и т.д.);
- 3) направление выдерживаемого размера перпендикулярно направлению размера, характеризующего расстояние между измерительной и технологической базами.

Значение погрешности базирования Δ_b определяют соответствующими геометрическими расчетами или анализом размерных цепей, что в некоторых случаях обеспечивает более простое решение задачи. В общем случае погрешность базирования следует определять исходя из пространственной схемы расположения заготовки. Однако для упрощения расчетов обычно ограничиваются рассмотрением смещений только в одной плоскости.

Например, при расположении плоскости в осевом сечении шейки вала возможны следующие варианты задания размера, определяющего ее положение: от нижней образующей (размер H_1); от верхней образующей (размер H_2); от оси шейки вала (размер H_3) (рисунок 1.24). Обработка подобных поверхностей часто осуществляется при установке вала в призму (в общем случае обрабатываемая поверхность может располагаться под некоторым углом β к оси призмы). Технологической базой, определяющей точность выполнения указанных размеров, является линия схождения гра-

ней призмы (точка A на рисунке 1.24), а измерительными базами для размеров H_1 , H_2 и H_3 являются соответственно нижняя образующая (точка B), верхняя образующая (точка C) и ось шейки вала (точка O). Технологическая и измерительная базы не совпадают и, следовательно, имеют место погрешности базирования при выполнении указанных размеров. Согласно общему правилу погрешности базирования на размеры H_1 , H_2 и H_3 равны соответственно проекциям допусков на замыкающие размеры между технологической и измерительными базами T_{AB} , T_{AC} и T_{AO} .

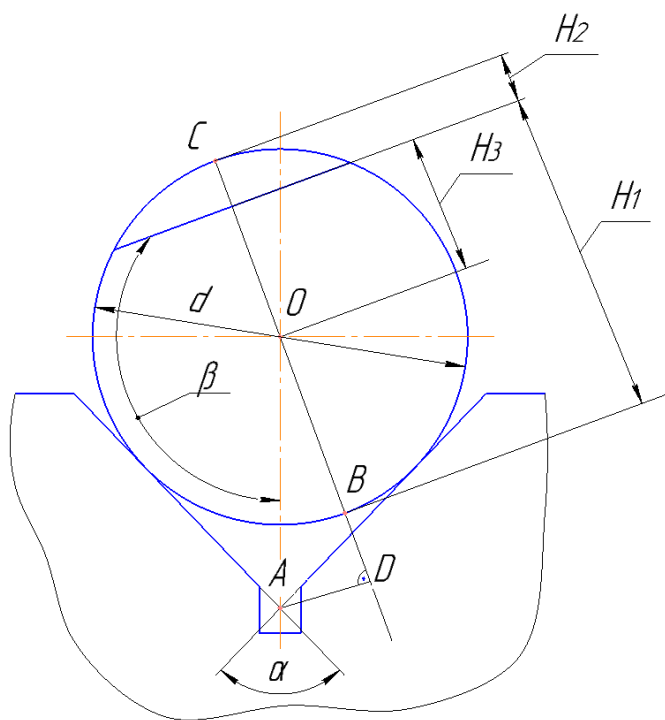


Рисунок 1.24. – Схема задания размеров в осевом сечении вала

При выполнении размера H_1 погрешность базирования $\Delta_{\delta_{H_1}}$ равна проекции допуска T_{AB} , т.е. $\Delta_{\delta_{H_1}} = T_{BD}$. В результате решения размерных цепей видно, что

$$T_{BD} = T_{OD} - \frac{T_d}{2}; \quad T_{OD} = T_{AO} \cdot \sin \beta; \quad T_{AO} = \frac{T_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}; \quad T_{OD} = \frac{T_d \sin \beta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

С учетом этих соотношений

$$\Delta_{\delta_{H_1}} = \frac{T_d}{2} \cdot \left(\frac{\sin \beta}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right). \quad (1.1)$$

Путем аналогичных рассуждений и решения соответствующих размерных цепей получим:

– погрешность (от несовмещения баз) базирования при выполнении размера H_2

$$\Delta_{\delta_{H_2}} = \frac{T_d}{2} \cdot \left(\frac{\sin \beta}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right); \quad (1.2)$$

– погрешность (от несовмещения баз) базирования при выполнении размера H_3

$$\Delta_{\delta_{H_3}} = \frac{T_d}{2} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (1.3)$$

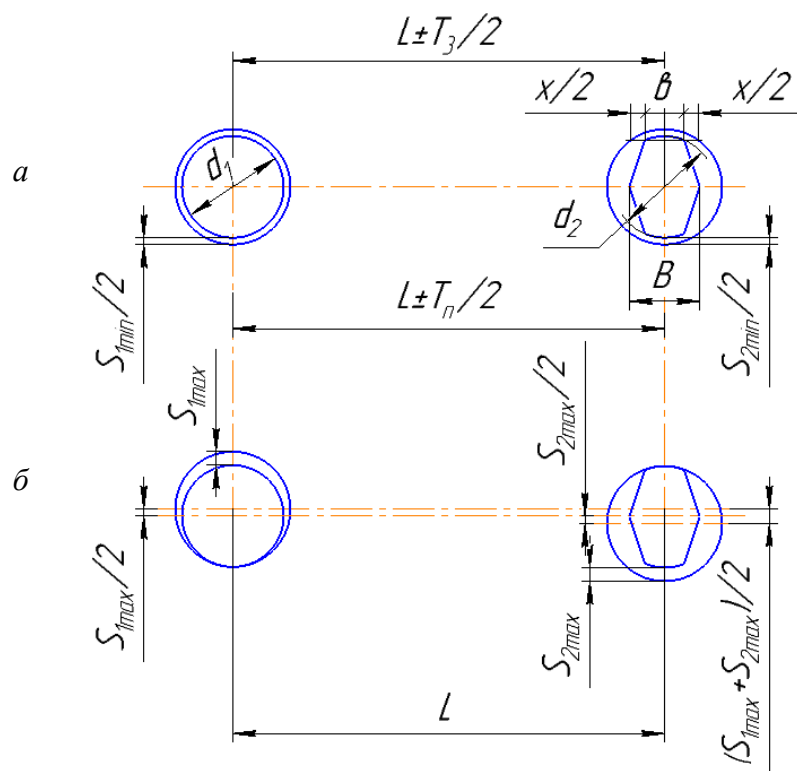
Чаще всего $\beta = 90^\circ$ (плоскость на цилиндрической шейке вала расположена перпендикулярно оси призмы), в этом случае формулы (1.1)–(1.3) приобретают следующий вид:

$$\Delta_{\delta_{H_1}} = \frac{T_d}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right); \quad (1.4)$$

$$\Delta_{\delta_{H_2}} = \frac{T_d}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right); \quad (1.5)$$

$$\Delta_{\delta_{H_3}} = \frac{T_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (1.6)$$

В процессе изготовления деталей часто применяется схема базирования по плоскости и двум точным отверстиям, из которых одним отверстием заготовка или изделие устанавливается на цилиндрический палец, а другим – на срезанный палец (рисунок 1.25). Срезанный палец устанавливается так, чтобы его большая ось была перпендикулярна центральной линии расположения пальцев, что дает возможность устанавливать на пальцы любую заготовку данного типоразмера, имеющую расстояние между отверстиями в заданных пределах. В этом случае зазор между отверстием и срезанным пальцем в направлении линии, соединяющей центры отверстий, увеличивается до $0,5x$, что позволяет компенсировать отклонения расстояний между осями отверстий устанавливаемой заготовки и осями пальцев приспособления.



**Рисунок 1.25. – Схема базирование заготовки на плоскость и два отверстия:
а – при симметричном расположении; б – при наличии перекоса**

Установка всех обрабатываемых заготовок данного типоразмера по плоскости и двум отверстиям на цилиндрический и срезанный пальцы возможна при выполнении следующего неравенства:

$$S_{1\min} + \frac{d_2}{B} S_{2\min} > T_3 + T_{\pi}, \quad (1.7)$$

где $S_{1\min}$ – наименьший зазор в сопряжении цилиндрического пальца с отверстием;

$S_{2\min}$ – наименьший зазор в сопряжении направляющего пояска срезанного пальца с отверстием;

d_2 – диаметр цилиндрической части срезанного пальца;

B – хорда цилиндрического участка срезанного пальца;

T_3 – допуск на межцентровое расстояние L отверстий заготовки;

T_{π} – допуск на межцентровое расстояние L пальцев приспособления.

Наличие необходимых зазоров между пальцами и отверстиями является причиной углового смещения и перекоса заготовки. Наибольший возможный угол поворота заготовки (угловое смещение, град) вследствие

наличия зазоров между базовыми отверстиями и установочными пальцами можно определить по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{S_{1\max} + S_{2\max}}{2L}, \quad (1.8)$$

где $S_{1\max}$ – наибольший зазор в сопряжении цилиндрического пальца с отверстием, мм;

$S_{2\max}$ – наибольший зазор в сопряжении направляющего пояска срезанного пальца с отверстием, мм;

L – номинальное расстояние между центрами отверстий или пальцев, мм.

Как видно из формулы (1.8), с увеличением расстояния между осями базовых отверстий угловое смещение заготовки при ее установке на пальцы уменьшается. Поэтому в качестве базовых следует выбирать отверстия, расположенные на возможно большем расстоянии друг от друга.

Возможный перекося (мм) заготовки на длине l

$$P = l \cdot \tg \alpha, \quad (1.9)$$

где l – расстояние от центра отверстия, по которому заготовка устанавливается на цилиндрический палец, до точки на межцентровой линии отверстий, определяющей место контакта измерительного прибора с заготовкой.

Максимальный зазор в соединении отверстие – установочный палец

$$S_{\max} = D_{o \max} - D_{п \min}, \quad (1.10)$$

где $D_{o \max}$ – наибольший предельный размер базового отверстия заготовки, мм;

$D_{п \min}$ – наименьший предельный размер пальца, мм.

1.4 Понятия о служебном назначении изделия, об исполнительных и вспомогательных поверхностях

Каждое изделие создается для удовлетворения определенных потребностей человека, которые находят отражение в служебном назначении изделия.

Под служебным назначением изделия понимается максимально уточненная и четко сформулированная задача, для решения которой оно предназначено.

Каждое изделие выполняет свое служебное назначение при помощи ряда поверхностей. Такие поверхности принято называть функциональными (исполнительными или рабочими).

По функциональному признаку все поверхности детали можно разделить на три вида:

1. Исполнительные.
2. Конструкторские базы:
 - основные;
 - вспомогательные.

3. Свободные (вспомогательные), т.е. поверхности, помогающие в сочетании с другими рассмотренными поверхностями придать детали конструктивные формы, в соответствии со служебным назначением.

Поскольку основные конструкторские базы детали определяют ее положение относительно других деталей, к которым она присоединяется при работе в изделии, эти поверхности желательно принимать за координатные и по отношению к ним располагать все остальные, т.е. вспомогательные базы, исполнительные и свободные поверхности.

Одной из основных задач технологии машиностроения является экономичное получение деталей, имеющих требуемую точность размеров, взаимного расположения и геометрической формы поверхностей, их шероховатость и физико-механические свойства материала. Для этого исполнительные поверхности и поверхности основных и вспомогательных конструкторских баз деталей подвергаются обработке, в то время как свободные поверхности деталей остаются необработанными.

Необходимость обработки свободных поверхностей возникает лишь в ряде случаев.

1. Изготовление быстровращающихся деталей (уменьшение масс, облегчение динамической балансировки).
2. Предотвращение попадания грязи и окалины при работе внутри корпуса.
3. Повышение усталостной прочности.
4. Повышение коррозионной стойкости.
5. Использование в качестве технологических баз (искусственно созданные базы).
6. Когда на массу детали установлен достаточно жесткий допуск.

2 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

2.1 Общие понятия о производственном и технологическом процессах

Производственный процесс представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта выпускаемых изделий (ГОСТ 3.1109).

В состав производственного процесса включаются все действия по изготовлению продукции, контролю ее качества, хранению и перемещению на всех стадиях изготовления, организации снабжения и обслуживания рабочих мест и участков, управления всеми звеньями производства, а также все работы по технической подготовке производства.

В соответствии с ГОСТ 3.1109 **технологический процесс** – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

Технологические процессы строятся по отдельным методам их выполнения (процессы механической обработки, сборки, литья, термической обработки и т.п.).

Технологический процесс составляет основную часть производственного процесса и выполняется на рабочих местах.

Рабочее место обычно представляет собой часть объема цеха, предназначенную для выполнения работы одним или группой рабочих. Здесь размещаются инструмент, приспособления, технологическое и подъемно-транспортное оборудование, стеллажи для хранения заготовок, деталей и сборочных единиц.

Технологическая операция – это законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте (ГОСТ 3.1109). Применительно к условиям механосборочного производства это определение можно представить в следующем виде: **технологическая операция** – это часть технологического процесса, выполняемая **непрерывно** на одном рабочем месте над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими рабочими.

Условие непрерывности означает выполнение предусмотренной работы без перехода к обработке другого изделия.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций определяется трудоемкость изготовления изделий и устанавливаются нормы времени и расценки; задаются требуемые численность рабочих и количество оборудования, приспособлений и инструментов; определяется себестоимость

обработки; производится календарное планирование производства и осуществляется контроль качества и сроков выполнения работ.

Кроме технологических операций в состав технологического процесса в ряде случаев включаются вспомогательные операции (транспортные, контрольные, маркировочные, моечные и т.п.), не изменяющие размеров, формы, внешнего вида или свойств обрабатываемого изделия, но необходимые для осуществления технологических операций.

Составными элементами технологической операции являются: установ, позиция, технологический и вспомогательный переходы, рабочий и вспомогательный ходы, прием.

Установ представляет собой часть технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемых сборочных единиц.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования, для выполнения определенной части операции.

Технологический переход – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

Применительно к условиям механической обработки определение перехода можно уточнить следующей формулировкой: **технологический переход** представляет собой законченную часть технологической операции, выполняемую над одной или несколькими поверхностями заготовки, одним или несколькими одновременно работающими инструментами без изменения или при автоматическом изменении режимов работы станка (например, изменение режимов в одном переходе на станках с ЧПУ).

Элементарный переход – часть технологического перехода, выполняемая одним инструментом, над одним участком поверхности обрабатываемой заготовки, за один рабочий ход без изменения режима работы станка.

Этим понятием удобно пользоваться при проектировании технологической операции и расчете основного времени обработки заготовок на станках с ЧПУ, когда внутри технологического перехода производятся изменения режимов работы станка. Например, при обработке фасонных контуров на станках с ЧПУ во многих случаях внутри перехода изменяется припуск на обработку или условия резания, что делает целесообразным введение в программу другой величины подачи на соответствующем участке обрабатываемого контура.

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей предмета труда, но необходимые для выполнения технологического перехода.

Рабочий ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

Вспомогательный ход – это законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождаемого изменением формы, качества поверхности или свойств заготовки, но необходимого для подготовки рабочего хода.

Прием – это законченная совокупность действий человека, применяемых при выполнении перехода или его части и объединенных одним целевым назначением.

2.2 Классификация технологических процессов

В зависимости от условий производства и назначения проектируемого технологического процесса применяются различные виды технологических процессов. Вид технологического процесса определяется количеством изделий, охватываемых процессом (одно изделие, группа однотипных или разнотипных изделий).

Единичный технологический процесс – это технологический процесс изготовления или ремонта изделия одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства (ГОСТ 3.1109).

Разработка единичных технологических процессов характерна для оригинальных изделий (деталей, сборочных единиц, не имеющих общих конструктивных и технологических признаков с изделиями, ранее изготовленными на предприятии).

Унифицированный технологический процесс – это технологический процесс, относящийся к группе изделий, характеризующихся общностью конструктивных и технологических признаков. Унифицированные технологические процессы подразделяются на типовые и групповые.

Унифицированные технологические процессы находят широкое применение в мелкосерийном, серийном и частично в крупносерийном производствах. Применение унифицированных технологических процес-

сов зависит от наличия специализированных участков, рабочих мест, переналаживаемой технологической оснастки и оборудования.

Типовой технологический процесс – это технологический процесс изготовления группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками. Типовой технологический процесс характеризуется общностью содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы таких изделий и применяется как информационная основа для разработки **рабочего технологического процесса**, а также служит базой для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Групповой технологический процесс – это технологический процесс изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками.

В соответствии с этим определением групповой технологический процесс представляет собой процесс обработки заготовок различной конфигурации, состоящий из комплекса групповых технологических операций, выполняемых на специализированных рабочих местах в последовательности технологического маршрута изготовления группы изделий. Групповая технологическая операция характеризуется общностью используемого оборудования, технологической оснастки и наладки (при допущении только незначительной подналадки средств группового оснащения).

Перспективный технологический процесс – это технологический процесс, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства достижения которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии.

Рабочий технологический процесс – это технологический процесс, выполняемый по рабочей технологической и (или) конструкторской документации.

Рабочий технологический процесс разрабатывается только на уровне предприятия и применяется для изготовления или ремонта конкретного предмета производства.

Проектный технологический процесс – это технологический процесс, выполняемый по предварительному проекту технологической документации.

Временный технологический процесс – это технологический процесс, применяемый на предприятии в течение ограниченного периода времени из-за отсутствия надлежащего оборудования или в связи с аварией до замены на более современный.

Стандартный технологический процесс — это технологический процесс, установленный стандартом.

Комплексный технологический процесс — это технологический процесс, в состав которого включаются не только технологические операции, но и операции перемещения, контроля и очистки обрабатываемых заготовок по ходу технологического процесса. Комплексный технологический процесс проектируется при создании автоматических линий и гибких производственных систем.

2.3 Размер программного задания. Характеристики технологического процесса

Производственная программа выражается количеством изделий с определенными наименованиями, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием или его подразделением в течение планируемого периода времени (ГОСТ 3.1109).

Подетальная производственная программа может быть определена по формуле

$$W_i = Wm_i \left(1 + \frac{\beta_i}{100} \right), \quad (2.1)$$

где W_i — количество деталей, изготавливаемых за планируемый период;
 W — количество изделий, изготавливаемых за этот же период;
 m_i — количество деталей в одном изделии;
 β_i — процент запасных частей.

Если предусматривается плановый процент брака α_i % (кузнечные и литейные цеха), то формула принимает вид

$$W_i = Wm_i \left(1 + \frac{\beta_i}{100} \right) \left(1 + \frac{\alpha_i}{100} \right). \quad (2.2)$$

Общее количество изделий или заготовок, изготавливаемое по неизменному чертежу, называется **величиной серии**.

Производственная партия — группа заготовок одного наименования, типоразмера и исполнения, запускаемая в обработку одновременно или непрерывно в течение определенного интервала времени.

Операционная партия — это производственная партия или ее часть, поступающая на рабочее место для выполнения технологической операции.

В ГОСТ 3.1109 определяются следующие характеристики технологического процесса: такт выпуска, ритм выпуска и цикл технологической операции.

Такт выпуска представляет собой интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения.

Расчетный такт выпуска может быть подсчитан следующим образом:

$$T = \frac{60F_{\partial}}{N}, \quad (2.3)$$

где F_{∂} – фонд времени оборудования, ч/год;

N – годовая программа выпуска деталей, шт.

Ритм выпуска – количество изделий или заготовок определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени, т.е. ритм выпуска представляет собой величину обратную такту.

При проектировании технологического процесса желательно добиться его построения из одинаковых или кратных по трудоемкости операций с продолжительностью цикла, равной или кратной такту выпуска изделий. В этом случае возможна и целесообразна обработка заготовок на поточной линии.

Цикл технологической операции – это интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющейся технологической операции независимо от числа одновременно изготавливаемых изделий.

2.4 Технологическая характеристика различных типов производства

Одним из основных принципов построения технологических процессов является **принцип совмещения технических, экономических и организационных задач**, решаемых в данных производственных условиях.

Проектируемый технологический процесс безусловно должен обеспечить выполнение всех требований к качеству и точности изделия, предусмотренных чертежом и техническими условиями при наименьших затратах труда и минимальной себестоимости, а также при изготовлении изделий в количествах и в сроки, установленные производственной программой.

Это может быть достигнуто при построении технологического процесса в полном соответствии с типом данного производства и его условиями.

В соответствии с ГОСТ 14.004 в зависимости от широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объема выпуска изделий современное

производство подразделяется на следующие типы: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характеризуется широтой номенклатуры изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий.

На предприятиях единичного производства количество выпускаемых изделий и размеры операционных партий заготовок исчисляются штуками и десятками штук; на рабочих местах выполняются различные операции, повторяющиеся нерегулярно или не повторяющиеся совсем; используется универсальное оборудование, которое расставляется в цехах по технологическим группам (токарный, фрезерный, сверлильный и т.д. участки); специальные приспособления и инструменты, как правило, не применяются (они создаются только в случае невозможности выполнения операции без специальной технологической оснастки); исходные заготовки простейшие (литье в землю, горячий прокат, поковки) с малой точностью и большими припусками; требуемая точность достигается методом пробных ходов и промеров с использованием разметки; взаимозаменяемость деталей и узлов во многих случаях отсутствует (соблюдается только для резьбовых поверхностей, для посадочных мест под подшипники качения и т.п.); широко применяется пригонка по месту; квалификация рабочих высокая, так как от нее в значительной мере зависит качество продукции; технологическая документация сокращенная и упрощенная; применяется опытно-статистическое нормирование труда.

Массовое производство – характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени (годы).

При этом используется специальное высокопроизводительное оборудование, которое располагается по поточному принципу (т.е. по ходу технологического процесса) и во многих случаях связывается транспортирующими устройствами и конвейерами с постами промежуточного автоматического контроля, а также промежуточными складами-накопителями заготовок, снабженными автоматическими перегружателями (роботами-манипуляторами), обеспечивающими смену заготовок на отдельных рабочих местах и пунктах контроля. Используются высокопроизводительные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы. Широко применяются автоматические линии и автоматические производственные системы, в том числе и управляемые ЭВМ при использовании станков с ЧПУ.

Значительное применение находит высокопроизводительная оснастка. Применяются инструменты из синтетических сверхтвердых материалов и алмазов, специального назначения (комбинированные и фасонные).

Широко используются точные индивидуальные заготовки (исходные) с минимальным припуском на механическую обработку (литье под давлением, горячая объемная штамповка, калибровка, чеканка и т.п.).

Требуемая точность достигается методами автоматического получения размеров на настроенных станках при обеспечении взаимозаменяемости обрабатываемых заготовок и собираемых узлов. Только в отдельных случаях применяется селективная сборка, обеспечивающая групповую взаимозаменяемость.

Средняя квалификация рабочих в современном массовом производстве значительно ниже, чем в серийном (имеются ввиду рабочие, выполняющие технологические операции). Наладчики станков имеют высокую квалификацию.

Дальнейшее развитие автоматизации приводит к уменьшению общего числа рабочих-операторов, и в перспективе полностью автоматизированные производства будут обслуживаться минимальным числом высококвалифицированных специалистов-наладчиков сложного оборудования (безлюдная технология).

Технологическая документация в массовом производстве разрабатывается самым детальным образом, технические нормы тщательно рассчитываются и подвергаются экспериментальной проверке.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями и сравнительно большим объемом выпуска.

В зависимости от количества изделий в партии годовой программы или серии различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Серийное производство является основным типом современного машиностроительного производства. Предприятиями этого типа выпускается в настоящее время 75–80% всей продукции машиностроения страны. По всем технологическим и производственным характеристикам серийное производство занимает промежуточное положение между единичным и массовым производством.

Объем выпуска предприятий серийного типа колеблется от десятков и сотен до тысяч и десятков тысяч регулярно повторяющихся изделий.

Используется универсальное, специализированное и частично специальное оборудование. Широко используются станки с ЧПУ, обрабатывающие центры (станки многоцелевого назначения) и находят применение гибкие автоматизированные системы станков с ЧПУ, связанных транспортирующими устройствами и управляемых с помощью компьютера. Оборудование расставляется по технологическим группам с учетом направления основных грузопотоков цеха по предметно-замкнутым участкам. Используются групповые (переменно-поточные) автоматические линии. Технологическая оснастка в основном универсальная, однако во многих случаях (особенно в крупносерийном производстве) создается высокопроизводительная специальная оснастка; при этом целесообразность ее создания должна быть предварительно обоснована технико-экономическим расчетом. Большое распространение имеет универсально-сборная, переналаживаемая технологическая оснастка.

В качестве исходных заготовок используется горячий и холодный прокат, литье в землю и под давлением, в кокиль и т.д.

Целесообразность применения того или иного вида и метода получения заготовки обосновывается технико-экономическим расчетом.

Требуемая точность достигается как методами автоматического получения размеров, так и методами пробных ходов и промеров с частичным применением разметки.

Средняя квалификация рабочих выше, чем в массовом производстве, но ниже, чем в единичном. Наряду с рабочими высокой квалификации, работающими на универсальном оборудовании, и наладчиками, привлекаются рабочие-операторы, обслуживающие настроенные станки.

В зависимости от объема выпуска обеспечивается полная взаимозаменяемость, неполная, групповая и т.д. при сборке деталей изделий.

Подробность разработки технологической документации в значительной мере определяется объемом выпуска.

В зависимости от объема выпуска изделий характер технологических процессов **серийного** производства может изменяться в широких пределах, приближаясь к процессам массового (в крупносерийном) или единичного (в мелкосерийном) типа производства.

Правильное определение характера проектируемого технологического процесса и степени его технической оснащенности является очень сложной задачей, требующей от технолога понимания реальной производственной обстановки, ближайших перспектив развития предприятий и умения проводить технико-экономические расчеты.

В соответствии с ГОСТ 3.1108 тип производства характеризуется **коэффициентом закрепления** операций.

Значение коэффициента закрепления операций принимается для планового периода, равного одному месяцу, и определяется по формуле

$$K_{з.о.} = \frac{O}{P}, \quad (2.4)$$

где O – число различных операций;

P – число рабочих мест с различными операциями.

Общее число операций по рассматриваемому производственному процессу отделения или участка цеха определяется суммированием различных операций, закрепленных за каждым рабочим местом.

В соответствии с ГОСТ 3.1121, если $1 \leq K_{з.о.} \leq 10$, то производство является массовым и крупносерийным; $10 < K_{з.о.} \leq 20$ – среднесерийным; $20 < K_{з.о.} < 40$ – мелкосерийным. В **единичном** производстве $K_{з.о.}$ не регламентируется.

3 КАЧЕСТВО ИЗДЕЛИЙ

3.1 Показатели качества изделий

В соответствии с ГОСТ 15467 под **качеством** промышленной продукции понимается совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с назначением.

Качество изделия характеризуется системой показателей. Каждый из показателей (параметров) качества дает количественную характеристику, которая определяется служебным назначением изделия. Качество продукции регламентируется целым рядом ГОСТов.

От качества производимых изделий в значительной мере зависит экономическая эффективность использования техники в различных отраслях промышленности.

Качество изделий закладывается в их конструкцию при проектно-конструкторских разработках, обеспечивается на требуемом уровне в производстве и поддерживается в эксплуатации.

С позиций служебного назначения показатели качества изделий можно разделить на 3 вида: расчетные, действительные и измеренные.

Расчетные показатели качества закладываются в конструкцию изделия уже на стадии формулирования технического задания на его проектирование и определяются его служебным назначением.

Действительные показатели качества – это те, которыми обладает изделие после его изготовления и в процессе эксплуатации.

Измеренные показатели отличаются от действительных в связи с неизбежным наличием погрешностей измерения.

С этих позиций их можно разделить на 2 группы: **производственно-технологические и эксплуатационные**.

К наиболее важным относятся эксплуатационные показатели, так как изделие создается для того, чтобы оно максимально удовлетворяло потребности человека. Наиболее полно характеризует эту группу показателей качества такие, как **технический уровень, надежность, эргономические и эстетические показатели**.

Технический уровень (мощность, КПД, производительность, точность работы, степень автоматизации, экономичность и др.) определяет степень совершенства изделия. Его можно оценивать в абсолютных и относительных величинах. Эти показатели используют при сопоставлении качества производимых лучших отечественных и зарубежных образцов.

В соответствии с ГОСТ 27.002 под **надежностью** понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения

всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность является сложным свойством, которое в зависимости от служебного назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений, а также поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Эргономические и эстетические показатели объекта должны соответствовать санитарно-техническим нормам, установленным законодательством.

Производственно-технологические показатели характеризуют технологичность конструкции изделия.

Технологичность конструкции изделия характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобствами в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных методов ее изготовления применительно к заданной программе выпуска и условиям производства.

3.2 Точность в машиностроении

Под **точностью** понимается степень соответствия ее параметров качеству производимых изделий по заранее установленному эталону, т.е. точность является одной из составляющих качества изделия.

Точность в машиностроении имеет большое значение для повышения эксплуатационных параметров качества изделий и построений технологических процессов их изготовления.

С повышением точности возрастает надежность изделий, а это, в свою очередь, сокращает затраты на их обслуживание и ремонт, сокращает простой. С повышением надежности изделий появляется возможность сокра-

щения их выпуска и, соответственно, высвобождения производственных мощностей машиностроительных предприятий.

Однако следует учитывать, что при излишне высоких требованиях к параметрам точности резко увеличиваются затраты на изготовление изделий.

При реализации технологического процесса изготовления изделия неизбежно влияние отдельных факторов процесса на формирование параметров качества, в результате чего достичь их абсолютно точно невозможно.

Различают точность выполнения **размеров, формы поверхностей и их взаимного расположения.**

Для нормирования требуемых уровней точности установлены качества (степени точности) изготовления размеров деталей. Под качеством понимается совокупность допусков на изготовление, характеризующая постоянной относительной точностью для всех номинальных размеров данного диапазона. Согласно ГОСТ 25346 установлено 20 качеств: 01, 0, 1, 2, 3, ..., 18. Наивысшей точности соответствует качество 01, а низшей – квалит18. Значит, чем больше номер качества, тем больше допуск размера.

Точность формы поверхности детали характеризуется отклонением формы реальной поверхности от номинальной, т.е. оценивается наибольшим расстоянием между точками реальной поверхности и номинальной, измеренным по нормали к последней. Различаются следующие точности формы: отклонения от плоскостности (выпуклость, вогнутость); отклонения от круглости (овальность, огранка); отклонения профиля продольного сечения (конусообразность, бочкообразность, седлообразность).

Точность взаимного расположения поверхностей деталей характеризуется отклонением реального расположения поверхностей (осей) от их номинального расположения: торцовое биение, радиальное биение, перпендикулярность осей или оси и плоскости, непараллельность осей или оси и плоскости, несоосность.

Общая суммарная погрешность при выполнении технологической операции обработки заготовок резанием является следствием суммарного влияния технологических факторов, действующих на трех основных этапах ее осуществления:

1. Установка заготовки – погрешность установки.
2. Настройка технологической системы: «заготовка – инструмент – приспособление – станок» (ЗИПС) – погрешность настройки.
3. Непосредственная обработка заготовки – погрешности обработки, возникающие в результате упругих отжатий в системе ЗИПС под действием сил резания, вызываемые размерным износом режущего инструмента, геометрической неточностью станков, неточностью изготовления режущего инструмента, тепловыми деформациями системы, действием остаточ-

ных напряжений в материале заготовки (их перераспределением), колебаниями твердости материала заготовок.

Погрешности в выполнении того или иного параметра качества, возникшие на предшествующих операциях, не могут быть полностью устранены на выполняемой операции технологического процесса (технологическая наследственность).

При выполнении любого технологического процесса должна обеспечиваться требуемая служебным назначением точность изделия при возможно более высокой производительности и наименьшей себестоимости, т.е. должны работать с так называемой экономической точностью.

Следует отметить, что экономическая точность по мере совершенствования техники повышается. В справочной литературе приводятся таблицы экономической (среднестатистической) точности обработки. По ним можно определить каким из методов (или их сочетаний) можно экономично обеспечить требуемую точность параметров.

При обработке заготовок на металлорежущем оборудовании требуемую точность можно обеспечить одним из двух принципиально отличных методов:

- 1) метод пробных ходов и промеров;
- 2) метод автоматического получения размеров.

Метод пробных ходов и промеров заключается в том, что к обрабатываемой поверхности заготовки, установленной на станке, подводится режущий инструмент и с короткого участка поверхности заготовки снимается пробная стружка. После этого станок останавливается, делается пробный замер полученного размера, определяется величина его отклонения от заданного по чертежу и вносится поправка в координату режущей кромки инструмента, влияющей на точность выполняемого размера и так далее до попадания размера в поле допуска.

Сущность **метода автоматического получения размеров** заключается в том, что требуемая точность геометрических параметров качества обеспечивается предварительной настройкой режущей кромки инструмента по координатам системы ЗИПС, влияющим на точность выполняемых параметров качества и в дальнейшем поддерживается при участии человека и (или) оборудования.

Этот метод может быть обеспечен при наличии следующих условий:

- 1) механической кинематической связи;
- 2) кинематической связи и участия оператора;
- 3) адаптивных систем (приспосабливаемость в пределах партии);
- 4) самооптимизирующихся систем.

4 СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

4.1 Виды погрешностей

Погрешности, возникающие при обработке деталей, сборки и контроле, можно разделить на три вида: систематические постоянные, систематические закономерно изменяющиеся и случайные.

Систематические постоянные погрешности не изменяются при обработке одной заготовки или нескольких партий заготовок. Они возникают под влиянием постоянно действующего фактора. Например, неперпендикулярности оси отверстия к установочной плоскости при сверлении из-за неперпендикулярности оси шпинделя к поверхности стола вертикально-сверлильного станка и т.д. Систематические постоянные погрешности могут быть выявлены пробными измерениями нескольких обработанных деталей и сведены к минимуму соответствующими технологическими мероприятиями.

Систематические закономерно изменяющиеся погрешности могут влиять на точность обработки непрерывно или периодически (например, погрешность, вызываемая размерным износом резца и т.д.). Знание изменения этих погрешностей позволяет применять меры для их устранения или уменьшения при построении станочных операций.

Погрешность обработки партии деталей называется **случайной**, если в ходе обработки видимая закономерность изменения погрешностей отсутствует. Случайные погрешности возникают в результате действия большого количества несвязанных между собой факторов. Определить заранее момент появления и точную величину этой погрешности для каждой конкретной детали в партии не представляется возможным. Случайные погрешности могут быть непрерывными и дискретными. Непрерывная случайная

погрешность имеет любые численные значения в границах определенного интервала. Например, погрешность положения заготовки на станке, погрешность, вызываемая упругими отжатыми системы ЗИПС под влиянием нестабильности сил резания. Дискретные случайные погрешности в технологии машиностроения встречаются редко. К ним можно, в частности, отнести погрешности регулирования при использовании устройств ступенчатого типа.

Причинная связь между случайной погрешностью и факторами, вызывающими ее появление, иногда бывает известной (явной), а иногда не

явной. Например, с одной стороны, для конкретного случая обработки может быть выявлена зависимость упругих отжатий системы ЗИПС от величины снимаемого припуска, с другой стороны, факторы, вызывающие получение различных размеров диаметров отверстий, обработанных одной разверткой, являются пока полностью не выявленными.

Определить случайную погрешность для каждой детали в партии практически нельзя, тем не менее можно установить пределы изменения этой погрешности. При явно выраженной связи между случайной погрешностью и факторами, вызывающими ее появление, пределы изменения случайной величины могут быть определены аналитическими расчетами. Например, погрешность базирования при данной схеме установки можно заранее вычислить, зная допуск на размер заготовки. При не явной (не выявленной) связи между случайной погрешностью и факторами, вызывающими ее появление, пределы изменения случайной величины могут быть установлены на базе экспериментальных исследований.

4.2 Кривые распределения контролируемого параметра и оценка точности обработки

Для математического анализа случайной погрешности строят кривые распределения контролируемого параметра следующим образом. Вся совокупность измерений исследуемой величины (например, какого-либо размера в партии заготовок, обрабатываемых на настроенных станках или оборудовании) разбивается на ряд групп. В каждую группу входят величины, результаты измерения которых находятся в пределах установленного интервала. Интервалы, число которых берется в пределах 7–11, откладываются по оси абсцисс, а количество измерений, приходящееся на каждый

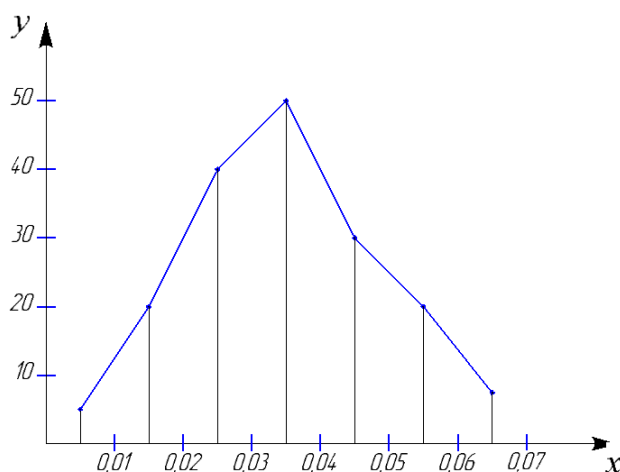


Рисунок 4.1. – Кривая распределения параметра y в интервале x

интервал, откладывается по оси ординат (рисунок 4.1). После соединения нанесенных на график точек получается ломаная линия, называемая полигоном распределения. На средние интервалы величины приходится большее число измерений. При увеличении числа деталей в партии, сужении интервалов и увеличении их числа, ломаная линия приближается к плавной.

Вместо абсолютного числа m деталей в каждом интервале по оси ординат чаще откладывают отношение этого числа к общему числу n деталей в партии; данное отношение называется **относительной частотой** или **частотой**.

При построении кривых распределения нужно придерживаться **закона больших чисел**. Согласно этому закону при увеличении числа наблюдений над однородными явлениями частота появления какого-либо события в прошлом приближается к вероятности появления его в будущем. Вероятность – отношение числа случаев, благоприятствующих данному событию, ко всему числу возможных случаев. Вероятность достоверного события равна единице (100%), недостоверного – нулю.

В качестве приближенной меры точности исследуемого процесса обработки может служить поле рассеяния размера. Величину поля рассеяния можно брать по полигону распределения или по таблице измерения исследуемых значений. Чем уже поле рассеяния, тем точнее исследуемый процесс. Вид кривой распределения определяется числом и характером факторов, влияющих на исследуемую величину.

В технологии машиностроения размеры чаще распределяются по закону нормального распределения (закону Гаусса). Кривая распределения по закону Гаусса имеет симметричную форму и асимметрически приближается к оси абсцисс (рисунок 4.2).

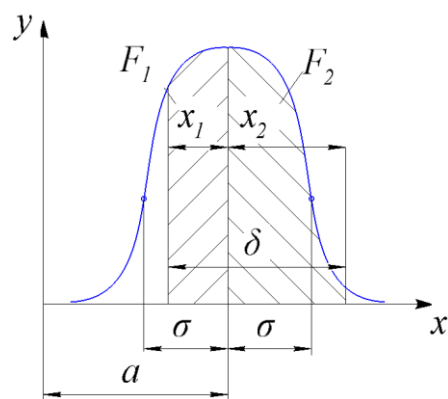


Рисунок 4.2. – Вид кривой распределения по закону Гаусса

Закон нормального распределения наблюдается в тех случаях, когда исследуемая величина является результатом действия большого числа различных факторов, причем все факторы по интенсивности своего влияния действуют одинаково. Этому закону подчиняются многие непрерывные величины: размеры деталей, обработанных на настроенных станках; масса заготовок и деталей машин; высота микронеровностей; твердость и др.

Во всех перечисленных случаях наблюдаются лишь небольшие непостоянные во времени отклонения от закона нормального распределения. Кривая распределения по закону Гаусса выражается уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.1)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение аргумента;

e – основание натурального логарифма;

a – значение абсциссы, при которой ордината y кривой достигает максимума.

Величина a является центром распределения (группирования) аргумента и в то же время его средней арифметической.

Закон Гаусса является двухпараметрическим (параметры σ и a). Ордината вершины кривой при $x = a$:

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}. \quad (4.2)$$

Точки перегиба кривой лежат на расстоянии σ от ее оси симметрии и имеют ординаты:

$$y = \frac{y_{\max}}{\sqrt{e}}.$$

Величина среднего квадратичного отклонения σ является мерой точности и характеризует форму кривой распределения. При больших значениях σ кривая получается пологой и поле рассеяния растет. При малых значениях σ точность исследуемого метода повышается и кривая получается сильно вытянутой вверх с малым полем рассеяния

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{ср}})^2}; \quad (4.3)$$

где n – число произведенных измерений;

m_i – частота;

x_i – значение текущего измерения;

$x_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i m_i$ – среднее арифметическое из произведенных измерений.

Число измерений n рекомендуется брать равным 50 и более. При этом погрешность определения σ равна $\pm 10\%$. Если $n = 25$, то погрешность определения σ возрастает до $\pm 15\%$. Для определения среднего арифметического с той же погрешностью число измерений можно брать в 5 раз меньше. При малом числе наблюдений (10–15) вычисление σ связано с большой погрешностью. В этом случае приближенную оценку точности можно производить, определяя поле рассеяния, т.е. разность между наибольшей и наименьшей измеряемыми величинами.

Пользуясь кривой распределения, можно найти вероятное количество годных деталей, на размер которых установлен определенный допуск.

Если предположить, что поле допуска T установлено двумя размерами x_1 и x_2 границ этого допуска от центра группирования, то вероятное количество годных деталей определяется в этом случае отношением площади $F_1 + F_2$ к площади F , заключенной между кривой и осью абсцисс. С уменьшением допуска отношение площадей и вероятное количество годных деталей также уменьшаются. При значительном (безграничном) расширении допуска отношение площадей приближается к единице. В этом предельном случае все детали становятся годными. Математически это означает, что вероятность данного достоверного события равна единице.

Принимается симметричное расположение кривой распределения относительно оси ординат. Тогда площадь левого заштрихованного участка (см. рисунок 4.2.)

$$F_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_1} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx . \quad (4.4)$$

Площадь правого заштрихованного участка

$$F_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx . \quad (4.5)$$

Эти интегралы обычно представляются в виде функции $\Phi(t)$ (функции Лапласа), причем $t = \frac{x}{\sigma}$:

$$F_1' = 0,5\Phi(t_1), \quad F_2' = 0,5\Phi(t_2). \quad (4.6)$$

Величины F_1' и F_2' меньше единицы. Они выражают долю от всей площади между кривой Гаусса и осью абсцисс, принимаемой за единицу. При $t = \pm 3$ функция $\Phi(t) = 0,9973$. Это значит, что из всей партии деталей, обработанных данным методом, только 0,27% выходит за пределы допуска $T = 6\sigma$.

Вычислив по данным наблюдений значение σ , можно охарактеризовать точность исследуемого технологического метода произведением 6σ .

В этом случае имеется практически 100% годность обрабатываемых заготовок, так как вероятный брак менее 0,3%. Величина 6σ является условной. При 7σ вероятный брак снижается незначительно. При 5σ он не-

сколько возрастает. Правило «шести сигм» является достаточно простым, удобным и точным для практического пользования.

Прежде чем пользоваться указанной методикой, необходимо сопоставить эмпирическое распределение (предположительно принятое как нормальное) с теоретическим. Для этого в одних и тех же координатах строятся эмпирический полигон и кривая нормального распределения.

Ординаты точек теоретической кривой определяются следующим образом:

$$Y_{н.р.} = C \cdot \varphi(t), \quad (4.7)$$

где $C = \frac{n}{z} \cdot \frac{\omega}{\sigma}$ – коэффициент;

n – общее количество наблюдений;

z – количество интервалов;

ω – поля рассеивания;

σ – среднее квадратичное.

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (4.8)$$

где $t = \frac{x}{\sigma}$.

С использованием функции Лапласа для каждого интервала определяются теоретические частоты.

Для количественного сопоставления эмпирического и теоретического распределений пользуются критерием согласия, например критерием Пирсона, который вычисляется по формуле

$$X^2 = \sum_{i=1}^z \frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}, \quad (4.9)$$

где z – число интервалов;

m_i и m_i' – эмпирические и теоретические частоты.

При определении критерия Пирсона должно соблюдаться условие между его наблюдаемым и критическим значениями

$$X_{набл.}^2 < X_{кр.}(\alpha, \kappa),$$

где $\alpha = 0,05$ – уровень значимости;

κ – число степеней свободы, $\kappa = z - p - 1$; p – число параметров теоретического распределения.

Рассмотренный метод позволяет объективно оценить точность процесса обработки, выполняемого при определенных условиях.

При нахождении величины σ , характеризующей точность данного метода, необходимо при измерениях исключить влияние систематической ошибки. Например, для исключения влияния погрешности формы цилиндрической поверхности, необходимо измерить диаметр y всех заготовок партии.

Кроме закона Гаусса можно применять и другие законы распределения.

Если на выполняемый размер влияет систематическая равномерно возрастающая погрешность (погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента, протекающего по закону прямой) (рисунок 4.3, а), то распределение происходит по закону равной вероятности. Кривая распределения имеет вид прямоугольника (рисунок 4.3, б).

Если на выполняемый размер влияет закономерно изменяющаяся погрешность, возрастающая сначала замедленно, а потом ускоренно (рисунок 4.4, а), то распределение размеров происходит по закону треугольника (закону Симпсона) (рисунок 4.4, б). Это распределение может иметь место при совместном действии размерного износа режущего инструмента с сильно выраженной фазой начального износа и увеличении силы резания в результате прогрессирующего затупления режущего инструмента.

Если выполняемый размер x изменяется в зависимости от времени обработки (числа обработанных деталей n) в результате тепловых деформаций технологической системы (рисунок 4.5, а), то кривая распределения имеет вид, представленный на рисунке 4.5, б.

При обработке заготовок методом пробных рабочих ходов инструмента кривая распределения действительных размеров получается несимметричной относительно поля допуска (рисунок 4.6). Это обусловлено тем, что рабочий, производя пробные ходы и измерения каждой заготовки, стремится обеспечить наибольшее предельное значение выполняемого размера (используя проходную сторону предельного калибра).

При этом методе получения размеров влияние закономерно изменяющихся и систематических постоянных погрешностей значительно

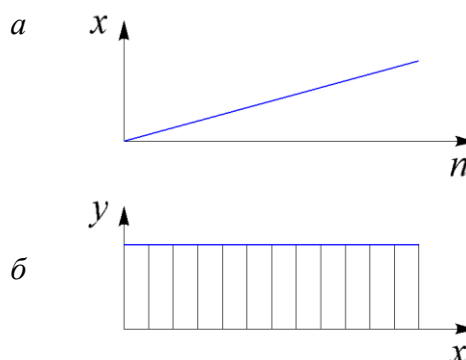


Рисунок 4.3. – Кривая распределения по закону равной вероятности

уменьшается и часто полностью отсутствует. Закон распределения приближается к несимметричному закону Шарлье.

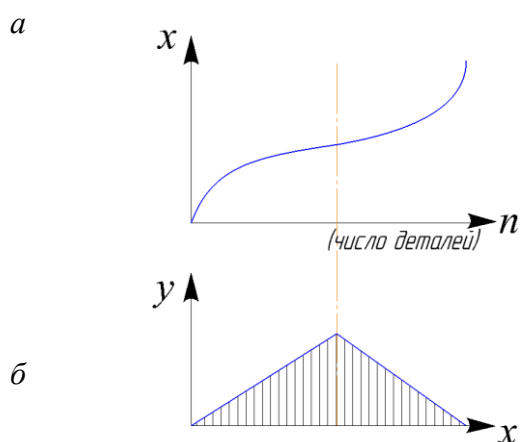


Рисунок 4.4. – Кривая распределения по закону треугольника: а – зависимость размера x от числа деталей n ; б – кривая распределения

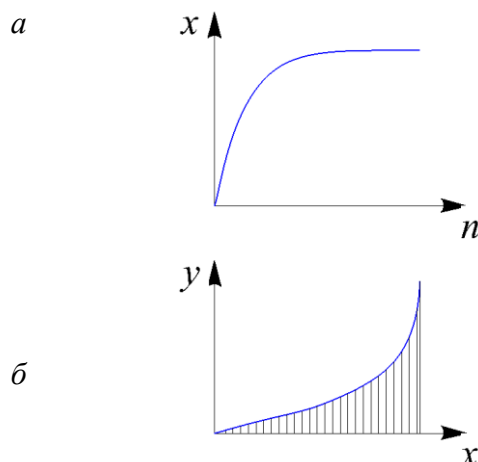


Рисунок 4.5. – Кривая распределения в результате тепловых деформаций технологической системы: а – зависимость размера x от числа деталей n ; б – кривая распределения

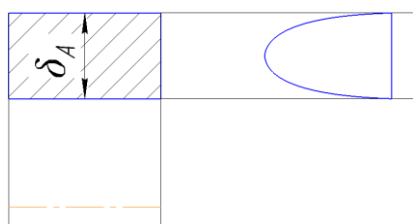


Рисунок 4.6. – Кривая распределения при обработке заготовок методом пробных проходов инструмента

Погрешности взаимного положения и погрешности формы поверхностей обработанных деталей являются положительными величинами и изменяются от нуля до определенного значения. Кривая распределения эксцентриситетов R ступенчатых цилиндрических деталей имеет несимметричную форму (рисунок 4.7).

Деталей с нулевым эксцентриситетом нет, большая часть деталей имеет средний эксцентриситет; деталей с большим эксцентриситетом мало. Закону эксцентриситета (закону Релея) следует также распределение значений непараллельности и перпендикулярности двух поверхностей, перпендикулярности оси детали к ее торцовой поверхности, разностенности полых деталей.

Этот закон однопараметрический. Среднее арифметическое значение $x_{\text{ср}}$ эксцентриситетов R связано со средним квадратичным отклонением постоянным соотношением $x_{\text{ср}} = 1,92\sigma$.

Систематическая постоянная погрешность не влияет на форму кривой распределения. Влияние этой погрешности выражается в том, что кривая распределения сдвигается на величину этой погрешности по оси абсцисс (рисунок 4.8).

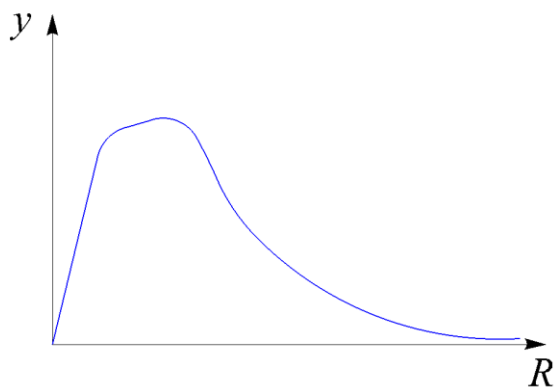


Рисунок 4.7. – Кривая распределения эксцентриситетов ступенчатых цилиндрических деталей

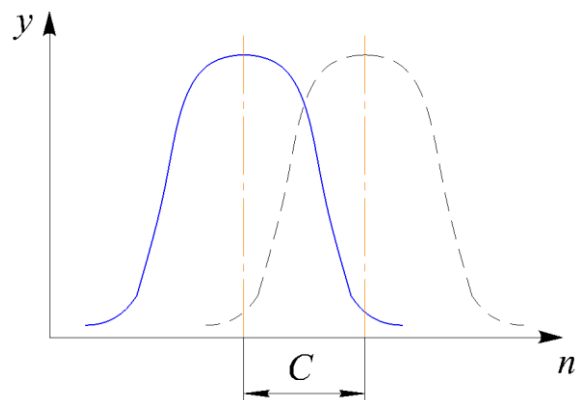


Рисунок 4.8. – Кривая распределения при систематически постоянной погрешности: C – величина систематической постоянной погрешности

Если наряду со случайными погрешностями имеются и систематические закономерно изменяющиеся погрешности, то кривая распределения искажается (рисунок 4.9). Например, когда на точность обработки помимо случайных погрешностей влияет размерный износ инструмента, кривая представляет собой композицию кривой Гаусса и кривой равной вероятности.

Кривая распределения для двух одинаковых партий заготовок, обработка которых производилась при двух различных настройках станка, получается двухвершинной (рисунок 4.10). Для нескольких настроек может получиться много вершинная кривая.

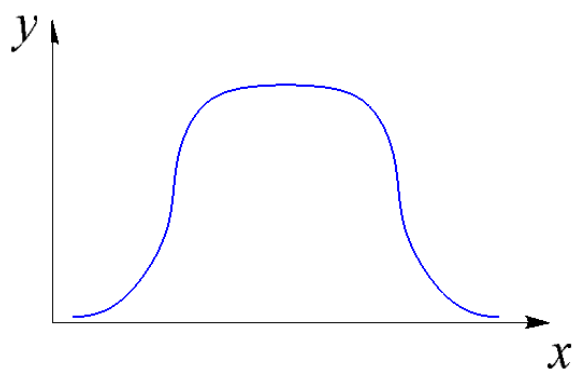


Рисунок 4.9. – Кривая распределения при случайных и систематических погрешностях

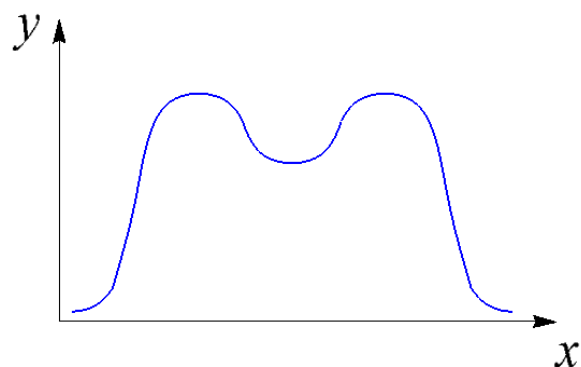


Рисунок 4.10. – Кривая распределения при обработке двух одинаковых партий заготовок при двух различных настройках станка

При большом количестве настроек кривая приобретает форму кривой нормального распределения, но с более широкой базой. Ширина базы увеличивается на величину погрешности настройки Δ_n . Распределение

размеров заготовок, обрабатываемых на предварительно настроенных станках, близко к нормальному.

Метод кривых распределения позволяет объективно оценить точность выполнения данной технологической операции. Однако он не учитывает последовательность обработки заготовок. Вся совокупность измерений рассматривается безотносительно к тому, какая деталь обработана раньше, какая позже. Кроме того, кривые распределения не позволяют определить причины, влияющие на результаты процесса. С помощью построения и анализа кривых распределения можно выявить систематическую постоянную погрешность, которая определяется величиной смещения центра группирования кривой для данной совокупности. Влияние закономерно изменяющихся погрешностей устанавливается по искажению формы кривой распределения. При интенсивном размерном износе режущего инструмента кривая Гаусса искажается и принимает форму плосковершинной кривой. Если по результатам измерений не строится кривая распределения, а непосредственно вычисляется среднее квадратичное отклонение, то систематические закономерно изменяющиеся погрешности не отличаются от случайных. В этом случае возможности данного метода для выявления и устранения причин, обуславливающих те или иные погрешности, уменьшаются.

Для исследования точности обработки применяют точечные и точностные диаграммы.

Для построения точечной диаграммы по горизонтальной оси откладывают номера обрабатываемых заготовок в той последовательности, как они сходят со станка (рисунок 4.11). По вертикальной оси в виде точек откладывают результаты измерения заготовок. Точечные диаграммы можно строить как для одной, так и для нескольких последовательно обрабатываемых партий заготовок.

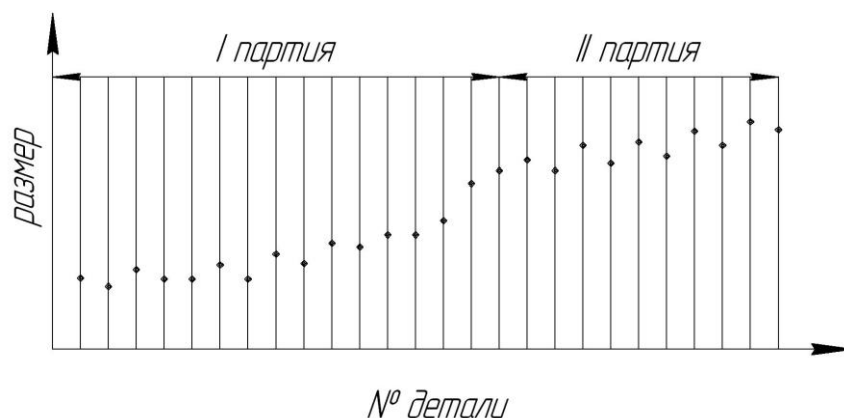


Рисунок 4.11. – Построение точечной диаграммы

Длину точечных диаграмм можно сократить, если по горизонтальной оси откладывать не номера заготовок, а номера групп заготовок, причем в каждую группу входит одинаковое количество последовательно снимаемых со станка заготовок (рисунок 4.12).

Диаграмма, по вертикальной оси которой отложены средние арифметические значения размеров заготовок, входящих в каждую группу, более наглядно показывает тенденцию изменения выполняемых размеров с течением времени отчетливо наблюдается периодичность изменения размеров в результате износа режущего инструмента и периодически производимых поднастроек станка (рисунок 4.13).

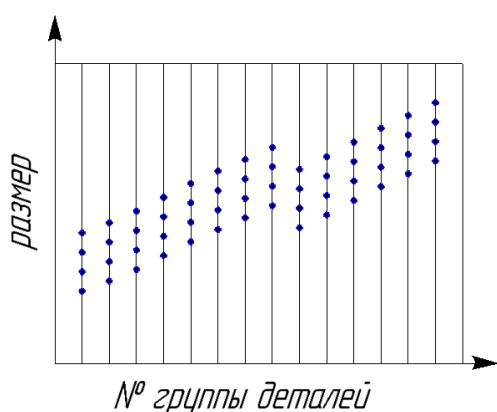


Рисунок 4.12. – Построение точечной диаграммы по номерам групп деталей

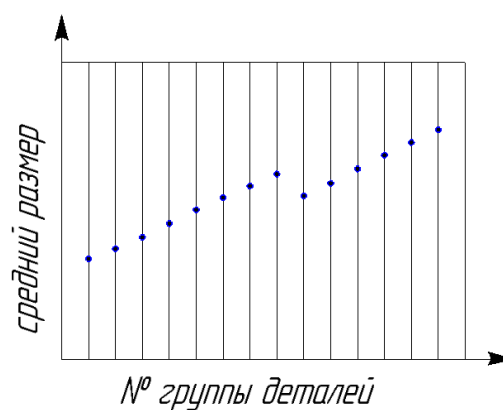


Рисунок 4.13. – Построение точечной диаграммы по среднему размеру заготовки

Точечные диаграммы стали шире использовать в связи с развитием и применением в промышленности статистического метода контроля продукции. В процессе ее изготовления периодически измеряются 2–10 деталей. Результаты измерений усредняются и наносятся на специальную (контрольную) диаграмму. На этой диаграмме предусмотрены параллельные прямые a , определяющие границы поля допуска, и прямые b , определяющие поле рассеяния средних групповых значений, называемые контрольными прямыми (рисунок 4.14). Место контрольных прямых находится на основе теоретических положений статистического контроля.

Как следует из контрольной диаграммы, вначале результаты измерений деталей, нанесенные на диаграмму

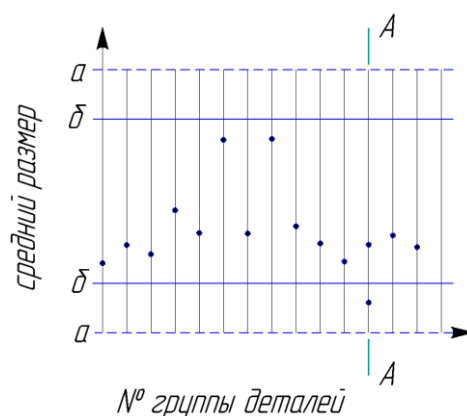


Рисунок 4.14. – Контрольная диаграмма

в виде точек, не выходят за пределы контрольных прямых. При контроле деталей группы A установлен выход размера за пределы контрольных границ. Это служит сигналом для поднастройки станка с помощью регулирования, смены инструмента или проверки положения упоров.

Статистический контроль осуществляется с использованием специальных приборов. Известны приборы, которые измеряют и усредняют результаты измерения суммирующим устройством с электрическими или пневматическими датчиками. На этих приборах последовательно или одновременно измеряются детали, входящие в группу. В автоматизированных производствах находят применение устройства, автоматически управляющие процессом обработки на основе результатов измерения и их преобразования в статистические характеристики.

Применение статистического контроля предупреждает брак, так как контролируется не вся совокупность уже изготовленных деталей (как при обычных способах контроля), а правильность выполнения самого технологического процесса. При обнаружении отклонений своевременно принимают меры для их устранения. При статистическом контроле значительно сокращается число контролеров, так как выборочной проверке подвергают только 5–10 % продукции.

Точечные диаграммы могут быть преобразованы в точностные. Последние позволяют более четко выявить влияние систематических закономерно изменяющихся погрешностей на общую погрешность обработки. Для каждой группы последовательно обработанных деталей находятся среднее арифметическое \bar{x}_{cp} и среднее квадратичное σ отклонения, а также предельные верхнее $\bar{\xi}_в$ и нижнее $\bar{\xi}_н$ отклонения от среднего арифметического (разность этих отклонений есть поле рассеяния W для каждой группы) (рисунок 4.15).

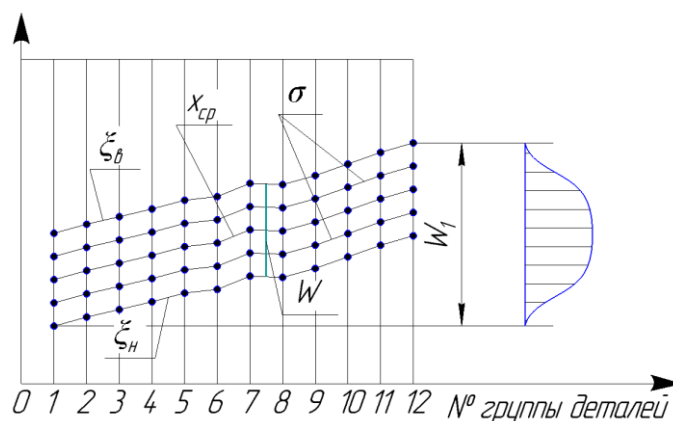


Рисунок 4.15. – Точностная диаграмма

Число деталей в каждой группе рекомендуется брать равным 25 и больше, если обрабатывается большая партия заготовок (более 300). При партии, например, 300 заготовок, число групп составляет 12.

Если размер партии исчисляется несколькими тысячами штук, то измерять детали нужно в порядке их изготовления, но группы берут не подряд, а через равное число не измеряемых деталей.

При соединении полученных точек для $x_{\text{ср}}$, σ , $\xi_{\text{в}}$ и $\xi_{\text{н}}$ ломаными линиями получается характеристика изменения этих величин во времени протекания исследуемого процесса обработки. Скачки, вызванные сменой или подналадкой режущего инструмента (или другими причинами), учитываются при проведении наблюдений по нескольким партиям путем совмещения границы ближайшей группы с местом скачка. Поле рассеяния W размеров в пределах одной группы значительно меньше поля рассеяния W_1 всей совокупности деталей.

Если распределение размеров в пределах одной группы отвечает закону нормального распределения, то для всей совокупности деталей оно может отличаться от этого закона из-за большего или меньшего влияния систематической закономерно изменяющейся погрешности. Например, при изменении $x_{\text{ср}}$ по закону прямой (при размерном износе инструмента) распределение размеров деталей во всей совокупности будет характеризоваться плосковершинной кривой.

Точностные диаграммы позволяют оценить технологические процессы во времени их протекания по устойчивости и стабильности признаков качества производимой продукции. Устойчивость характеризует во времени постоянство величины $x_{\text{ср}}$, а стабильность – постоянство поля рассеяния W . Объективную оценку устойчивости и стабильности производят, сопоставляя амплитуды изменения величин $x_{\text{ср}}$ и W с полем допуска T и средним размером по требованию чертежа детали. Устойчивость и стабильность технологического процесса считают достаточной, если амплитуда изменения указанных величин меньше (0,4–0,5) T . В отдельных случаях требования к устойчивости и стабильности могут быть выше.

5 ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

5.1 Погрешность установки и закрепления заготовок

В соответствии с ГОСТ 21495 под установкой понимается процесс базирования и закрепления заготовки или изделия.

Закрепление – приложение сил к заготовке или изделию для обеспечения постоянства их положения, достигнутого при базировании.

Под **погрешностью установки** понимается отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого.

В современной учебной и справочной литературе трактуется, что погрешность установки Δ как одна из составляющих общей погрешности выполняемого размера состоит из погрешности базирования $\Delta_б$, погрешности закрепления $\Delta_з$ и погрешности положения заготовки $\Delta_{пр}$, вызываемого неточностью приспособления.

Погрешность базирования рассмотрена выше. Рассмотрим другие составляющие погрешности установки.

Погрешность закрепления заготовки

Погрешностью закрепления называется разность между наибольшей и наименьшей величинами проекции смещения измерительной базы выполняемого размера в результате приложения к заготовке сил зажима

$$\Delta_з = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha, \quad (5.1)$$

где α – угол между плоскостью, в которой находится выполняемый размер и плоскостью, в которой рассматривается смещение измерительной базы.

Для партии заготовок эта погрешность равна нулю, если смещение хотя и велико, но постоянно; в этом случае положение поля допуска выполняемого размера может быть скорректировано настройкой станка.

Измерительная база заготовки смещается в результате деформации звеньев цепи: заготовки, установочных элементов и корпуса приспособления, через которую передается сила закрепления. В этой цепи наибольшие перемещения наблюдаются в стыке заготовка – установочные элементы. В остальных звеньях при рациональной конструкции приспособления перемещения малы и их можно не учитывать.

Зависимость контактных деформаций для стыков заготовка – установочные элементы выражается в общем виде нелинейным законом

$$y = CQ^n,$$

где C – коэффициент, характеризующий вид контакта, материал заготовки, шероховатость и структуру поверхностного слоя. Для партии заготовок при данной схеме установки этот коэффициент изменяется от C_{min} до C_{max} ;

Q – сила, действующая на установочные элементы;

n – степенной показатель меньше единицы.

В зажимных устройствах приспособлений сила закрепления при обработке партии заготовок колеблется от Q_{min} до Q_{max} , изменяя контактные деформации (рисунок 5.1).

Величину погрешности закрепления, как функцию непостоянства зажимной силы, можно определить следующим образом

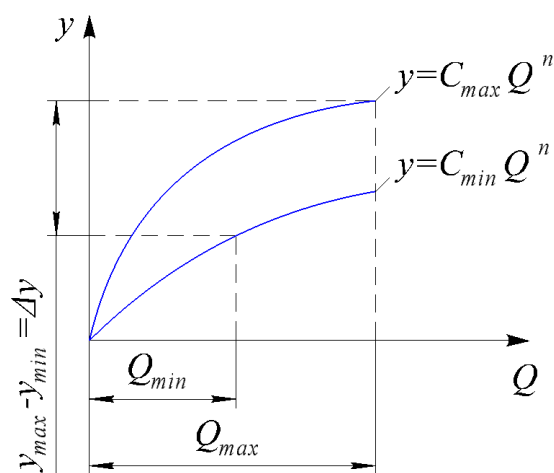


Рисунок 5.1. – Зависимость контактных деформаций от силы, действующей на установочные элементы

$$\Delta'_z = C(Q_{max}^n - Q_{min}^n) \cos \alpha. \quad (5.2)$$

Обозначим отношение $\frac{Q_{max}}{Q_{min}} = K$ – коэффициент непостоянства сил зажима и примем величину Q_{cp} за расчетную, получим

$$Q = \frac{Q_{max} + Q_{min}}{2}; \quad Q_{max} = KQ_{min}, \quad (5.3)$$

$$\text{отсюда } Q_{min} = \frac{2Q}{K+1}; \quad Q_{max} = \frac{2KQ}{K+1}.$$

Подставляя эти выражения в исходную формулу (5.1), получим

$$\Delta'_z = 2 \underbrace{\frac{n^{k^n-1}}{(k+1)^n}}_{A''} CQ^n \cos \alpha = ACQ^n \cos \alpha. \quad (5.4)$$

При использовании пневматических, гидравлических, магнитных и других зажимных механизмов наблюдается незначительное колебание зажимной силы $K \rightarrow 1$ и $\Delta_3' \rightarrow 0$.

Для зажимных устройств с ручным приводом $K \approx 1,3$.

Принимая силу зажима постоянной можно получить погрешность закрепления, как функцию неоднородности шероховатости и твердости поверхностного слоя заготовок в партии

$$\Delta_3'' = (C_{\max} - C_{\min})Q \cos \alpha. \quad (5.5)$$

Опыты показали, что разброс экспериментальных точек при постоянной силе Q составляет $\pm 10\%$ от среднего значения. Поэтому для этих условий приближенно можно записать

$$\Delta_3'' = 0,2CQ^n \cos \alpha. \quad (5.6)$$

Величины Δ_3' и Δ_3'' представляют собой поле рассеяния случайных погрешностей. Полагая, что распределение их подчиняется нормальному закону, получим общую погрешность закрепления при установке заготовки непосредственно на станке

$$\Delta_3 = \sqrt{(\Delta_3')^2 + (\Delta_3'')^2}. \quad (5.7)$$

При закреплении заготовки в приспособлении наблюдаются упругие отжатия его узлов, что вызывает дополнительное смещение заготовки и дополнительную погрешность закрепления Δ_3''' . Учитывая, что вид и условия контакта в сопряжениях приспособления не изменяются, эту составляющую можно определить, как и Δ_3' .

Поскольку составляющие Δ_3' и Δ_3''' имеют общую природу возникновения, они суммируются между собой арифметически и полная погрешность закрепления при установке заготовки в приспособлении определится по закону квадратного корня

$$\Delta_3 = \sqrt{(\Delta_3' + \Delta_3''')^2 + (\Delta_3'')^2}. \quad (5.8)$$

Из полученных зависимостей следует, что $\Delta_3 = 0$ при однородном качестве базовых поверхностей заготовок и при использовании устройств, обеспечивающих постоянную силу зажима, а также в том случае, когда

смещение заготовок под влиянием силы зажима происходит перпендикулярно к направлению выдерживаемого размера.

Погрешность закрепления, как и погрешность базирования, не влияет на точность выполнения диаметральных размеров; размеров, обрабатываемых за одну установку одним инструментом (инструментальной наладкой) поверхностей, а также не влияет на точность формы обрабатываемых поверхностей.

Погрешность положения заготовки, вызываемая неточностью приспособления

Погрешность положения заготовки из-за неточности приспособления определяется ошибками изготовления и сборки установочных элементов $\Delta_{\text{ус}}$ приспособления, их износом $\Delta_{\text{и}}$, а также ошибками базирования и фиксации приспособления на станке $\Delta_{\text{с}}$.

Составляющая $\Delta_{\text{ус}}$ характеризует неточность положения установленных элементов приспособления. При использовании одного приспособления она представляет собой систематическую постоянную погрешность. Ее можно устранить соответствующей настройкой станка. При использовании нескольких одинаковых приспособлений (приспособлений-дублеров, приспособлений-спутников), а также многоместных приспособлений эта погрешность является случайной величиной, не может быть компенсирована настройкой станка и входит полностью в $\Delta_{\text{пр}}$.

При изготовлении приспособлений погрешность $\Delta_{\text{ус}}$, в зависимости от их размеров и назначения, находится в пределах 0,01–0,05 мм. Для прецизионных приспособлений она менее 0,01 мм.

Составляющая $\Delta_{\text{и}}$ характеризует изменение положения контактных поверхностей установочных элементов в результате их изнашивания при эксплуатации приспособления.

Интенсивность изнашивания установочных элементов зависит от их конструкции и размеров, материала и массы заготовки, состояния ее базовой поверхности, а также от условий установки заготовки в приспособление и снятия ее. Исходя из требуемой точности установки, износ опор регламентируют заранее рассчитанной величиной.

Износ контролируется при плановой периодической проверке приспособления. Если износ достиг предельно допустимой величины, то приспособление ремонтируют путем замены опор. При обработке заготовок средних размеров по 8–10 квалитетам точности величина $\Delta_{\text{и}}$ обычно не

превышает 0,015 мм. Для уменьшения износа опоры выполняют из закаленной стали. Нередко их хромируют или наплавляют твердым сплавом, что уменьшает износ соответственно в 3 и 10 раз.

Составляющая Δ_c возникает в результате смещения и перекосов корпуса приспособления на столе, планшайбе или шпинделе станка. В массовом производстве при однократном закреплении приспособления на станке эту величину с помощью выверки доводят до требуемого минимума; она постоянна в течение эксплуатации приспособления и может быть устранена (компенсирована) настройкой станка. В серийном производстве приспособления многократно периодически переустанавливаются на станках и величина Δ_c при этом является некомпенсированной случайной величиной, изменяющейся в определенных пределах. Применением направляющих элементов (шпонок для Т-образных пазов стола, цилиндрических и конических поясков, фиксаторов, штифтов) и рациональном назначении зазоров в их сопряжениях величину Δ_c можно уменьшить до 0,01 мм и менее.

В проектных технологических расчетах величины Δ_{yc} , $\Delta_{и}$ и Δ_c можно рассматривать как поля рассеяния случайных величин, распределение которых в первом приближении можно принять по закону нормального распределения и их суммирование проводить по закону квадратного корня

$$\Delta_{пр} = \sqrt{\Delta_{yc}^2 + \Delta_{и}^2 + \Delta_c^2}. \quad (5.9)$$

Аналогичным образом определится и погрешность установки

$$\Delta = \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_3^2 + \Delta_{пр}^2}. \quad (5.10)$$

Выбор схемы установки заготовки следует производить, сопоставляя полученную для данного случая погрешность установки Δ с допустимой погрешностью $[\Delta]$:

$$\Delta \leq [\Delta],$$

которую, в свою очередь, находят из выражения технологического допуска выполняемого размера на данной операции:

$$T_T = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_H^2 + \Delta^2 + 3\Delta_{и}^2 + 3\Delta_T^2} + \sum \Delta_{\phi}, \quad (5.11)$$

где Δ_y – погрешность выполняемого размера, вызываемая упругими отжатами элементов технологической системы под влиянием неустойчивости сил резания;

Δ_H – погрешность настройки станка;

$\Delta_{\text{и}}$ – погрешность, вызываемая размерным износом режущего инструмента;

Δ_T – погрешность обработки, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы;

$\sum \Delta_{\Phi}$ – суммарная погрешность формы обрабатываемой поверхности в результате геометрических погрешностей станка и деформаций заготовки при ее закреплении из-за неравномерных упругих отжатий технологической системы в различных сечениях заготовки.

Отсюда допустимая погрешность установки

$$[\Delta] = \sqrt{(T_T - \sum \Delta_{\Phi})^2 - \Delta y^2 - \Delta_H^2 - 3\Delta_{\text{и}}^2 - 3\Delta_T^2}. \quad (5.12)$$

5.2 Выбор технологических баз

Обоснование последовательности обработки поверхностей детали и выбор технологических баз тесно связаны между собой и требуют комплексного решения.

Последовательность обработки поверхностей детали устанавливается после изучения и анализа служебного назначения детали, функций, которые надлежит исполнять ее поверхностям, и размерных связей между конструктивными элементами, вытекающими из служебного назначения детали.

При установлении последовательности обработки поверхностей детали и решении вопросов базирования заготовки при выполнении технологического процесса рекомендуется выявить исполнительные поверхности детали, ее основные и вспомогательные конструкторские базы, свободные поверхности; выявить размерные связи, при помощи которых определяется относительное положение конструктивных элементов.

Необходимо выявить конструктивные элементы, относительно которых задано и наиболее точно установлено положение других конструктивных элементов детали. В целях достижения требуемой точности детали именно эти конструктивные элементы следует использовать в качестве технологических баз на большинстве операций технологического процесса, если они в достаточной мере отвечают требованиям к технологическим базам и если невозможно обработать деталь полностью за одну установку.

Чаще всего положение большинства поверхностей задается относительно основных конструкторских баз детали. Поэтому, как правило, в качестве технологических баз следует выбирать основные конструкторские базы детали, стремясь сохранить принцип единства баз в технологическом

процессе. Отступление от этого принципа может быть вызвано тем, что положение большинства поверхностей детали задано не относительно основных конструкторских баз, а относительно каких-то других поверхностей, например, вспомогательных конструкторских баз или тем, что габариты и протяженность основных конструкторских баз недостаточны для использования их в качестве технологических баз.

Чертежи сложных корпусных деталей, как правило, имеют большой формат, значительное число видов, разрезов, сечений и множество размерных связей между конструктивными элементами. При этом затруднен анализ чертежа с целью выбора комплекта единых технологических баз (КЕТБ).

Значительное сокращение трудоемкости данной работы может быть достигнуто при анализе размерных связей между конструктивными элементами детали с использованием ее модели в виде графа размерных связей.

Суть данной методики можно пояснить на следующем примере. Необходимо определить КЕТБ при изготовлении детали, эскиз которой приведен на рисунке 5.2.

Для построения модели чертежа детали в виде графа размерных связей на проекциях чертежа детали проводятся оси системы координат, произвольно связанной с деталью (чаще всего по плоскостям и осям симметрии, по другим характерным для детали линиям и плоскостям), нумеруются все поверхности и другие конструктивные элементы детали (см. рисунок 5.2).

Модель представляет собой последовательное или параллельное изображение координатных осей с нанесенными на них номерами конструктивных элементов, которые встречаются вдоль каждой из координатных осей. Номера соединяются между собой линиями, условно изображающими размерные связи между конструктивными элементами детали (см. рисунок 5.2).

Данная модель удобна тем, что можно охватить все размерные связи детали. Из рисунка 5.3 видно, что вдоль координатной оси X наибольшим числом размерных связей обладает ось 811 отверстия диаметром 90 мм (см. рисунок 5.2), но это в основном связи между осями поверхностей вращения, расположенных на одной номинальной оси, которые могут быть обработаны за одну установку. Пять размерных связей имеет плоскость симметрии 18 и четыре связи – плоскость симметрии 22. Учитывая приоритетность связей, удобство использования для базирования представляет и то, что плоскость симметрии 22 имеет достаточно точные связи с плоскостью симметрии 18 и осью 811, очевидно, что именно ее предпочтительно использовать в качестве технологической базы. Вдоль оси Y наибольшим числом связей обладает поверхность 1 и вдоль оси Z – плоскость 24, которые являются достаточно удобными для базирования.

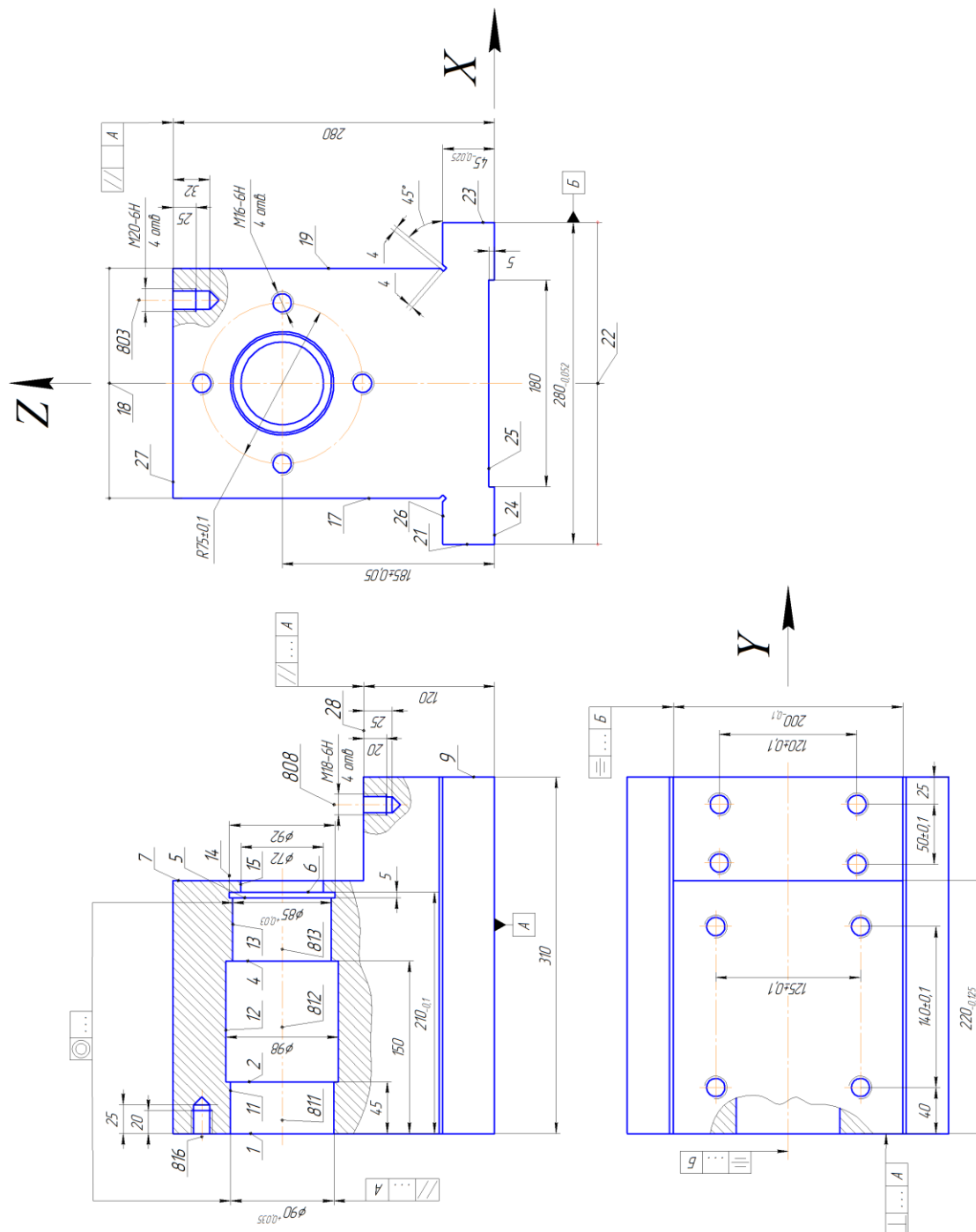


Рисунок 5.2. – Эскиз детали «Корпус» для определения комплекта единых технологических баз

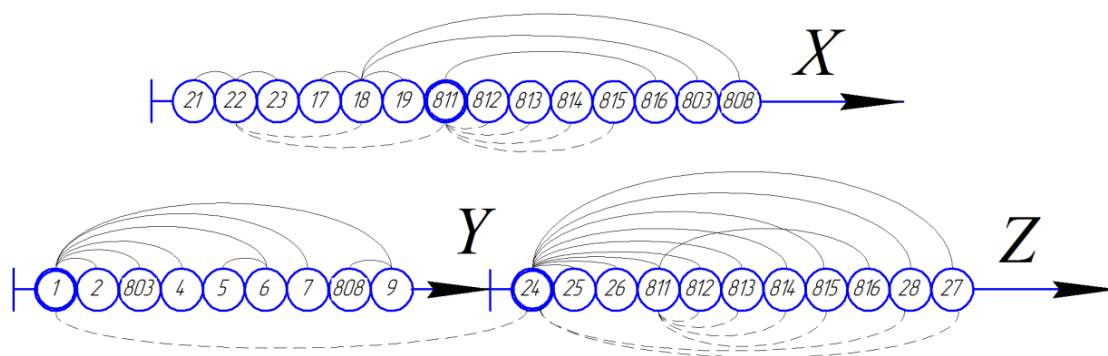


Рисунок 5.3. – Граф размерных связей детали «Корпус»:
 ————— – линейные размеры; - - - - - – угловые размеры

Следовательно, при осуществлении основных операций технологического процесса в качестве КЕТБ целесообразно принять: плоскость 24 – установочная явная база, плоскость симметрии 22 – направляющая скрытая база и торец 1 – явная опорная база.

На практике при изготовлении корпусных деталей наиболее часто применяют две схемы базирования:

- 1) по трем плоскостям, образующим координатный угол;
- 2) по плоскости и двум отверстиям с посадкой на установочные пальцы приспособления.

Указанные схемы базирования корпусных деталей наиболее полно обеспечивают в технологическом процессе соблюдение принципа единства баз и дают возможность использовать все преимущества координатного метода достижения точности. Однако при этом необходимо иметь в виду, что цепные размеры будут получаться уже не непосредственно от технологических баз, а более сложным путем, и что необходим пересчет допусков с построением соответствующих размерных цепей.

Имея в виду все преимущества принципа единства технологических баз, к его соблюдению все же надо подходить осмотрительно. Если требуется обеспечить высокую точность каких-либо цепных размеров, то возможен отход от единых технологических баз с тем, чтобы обеспечить требуемую точность размеров прямым путем. В качестве технологических баз в таких случаях используются непосредственно те поверхности детали, от которых заданы цепные размеры, т.е. используется принцип совмещения измерительных и технологических баз.

Решив вопрос о технологических базах для большинства операций технологического процесса, необходимо решить следующую задачу: выбрать технологические базы для обработки детали на первой или первых операциях, на которых должны быть созданы поверхности детали, наме-

ченные в качестве технологических баз для последующих операций. Обычно бывает несколько вариантов решения этой задачи. Для того чтобы выбрать из них более предпочтительный, необходимо провести анализ различных вариантов базирования заготовки и заранее определить возможные последствия сделанного выбора.

Проведение анализа начинается с выявления и четкой формулировки задач, которые надо решить при обработке заготовки на первой операции, а именно:

- обеспечить точность размеров, связывающих обработанные поверхности с поверхностями, остающимися необработанными;
- целесообразно распределять припуск между поверхностями, подлежащими обработке.

Кроме того, нужно учитывать такой критерий, как конструктивные особенности приспособлений, которые потребуются для реализации сопоставляемых вариантов базирования.

Результаты решения этих задач могут обнаружиться не на первой операции, а на последующих операциях выполняемого технологического процесса. Следовательно, избрав для решения одну из задач, необходимо найти то место в технологическом процессе, где намеченное базирование заготовки на первой операции проявится с интересующей нас стороны. Идя от этого этапа технологического процесса к началу обработки заготовки, а если надо, то и к технологическому процессу получения и чертежу заготовки, необходимо проанализировать путь решения задачи и оценить результаты этого решения.

Анализ вариантов базирования заготовки проводится с помощью технологических размерных цепей, вскрывающих связь операций в формировании точности образующегося размера детали. Пример, иллюстрирующий такой анализ на расточной операции, приведен на рисунке 5.4.

Выявление такого рода размерных цепей рекомендуется начинать с операции, на которой завершается решение рассматриваемой задачи, в рассматриваемом случае – расточной (см. рисунок 5.4, *а*). При этом может оказаться, что:

- а) выдерживаемый размер будет являться замыкающим звеном размерной цепи (чаще трехзвенной), в которой одним из составляющих звеньев является расстояние (поворот) между конечным положением режущего инструмента и технологической базой заготовки, а другим составляющим звеном – размер, получаемый на одной из предшествующих операций (см. рисунок 5.4, *б*);

б) задача обеспечения точности размера решается в пределах этой операции (в тех случаях, когда в качестве одной из технологических баз используется поверхность, от которой задан размер), в этом случае точность выдерживаемого размера достигается с помощью размерной цепи системы ЗИПС этой операции (см. рисунок 5.4, в).

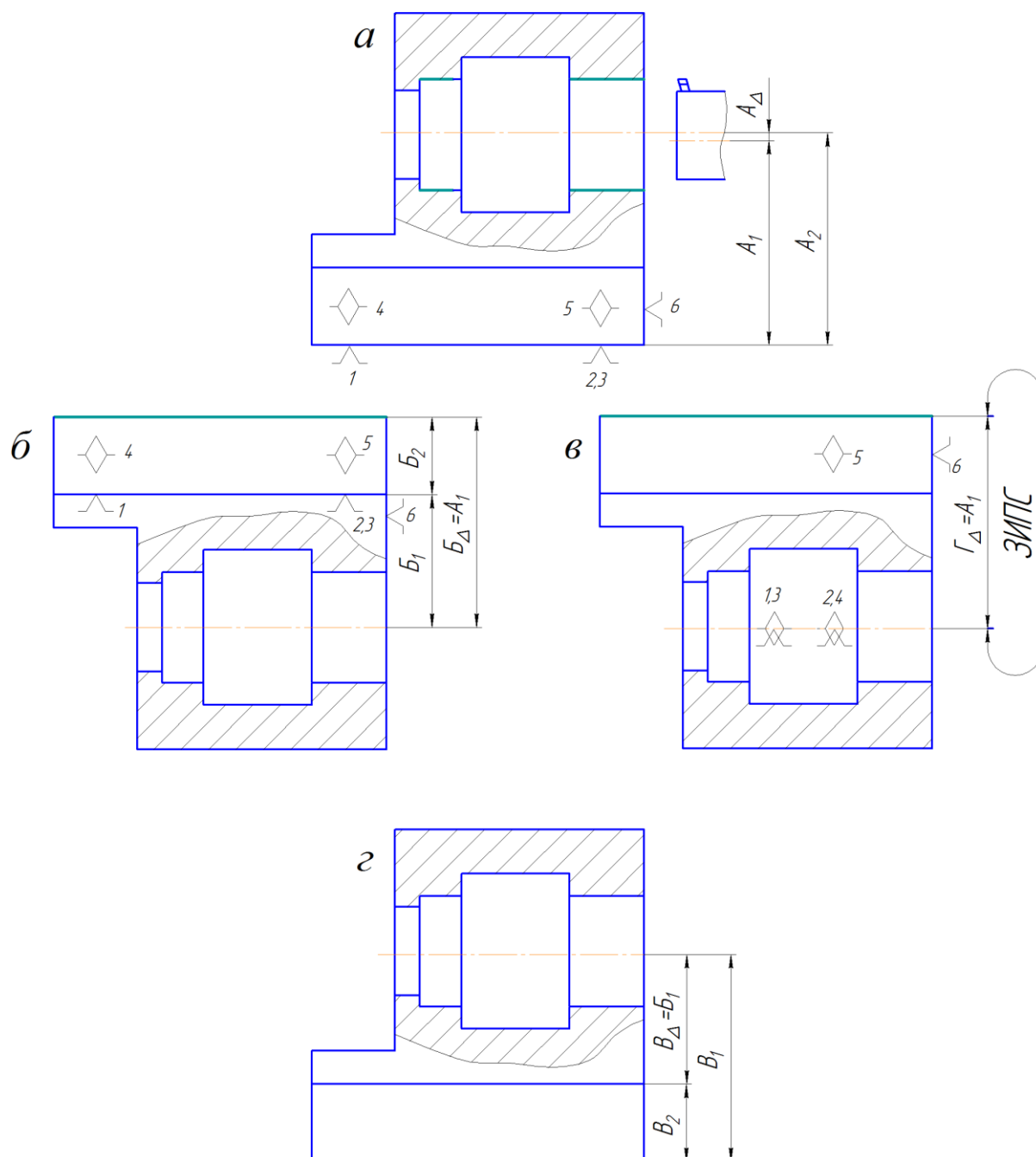


Рисунок 5.4. – Эскиз расточной операции (а) и вариантов базирования на первой операции (б, в) при обработке заготовки (г)

При выполнении размера как замыкающего звена размерной цепи, возникающей на предшествующей операции, может встретиться случай *а*, либо случай *б*. Рассмотрение размерных связей завершается операцией, на которой операционный размер получается как замыкающее звено системы ЗИПС.

При проведении анализа базирования заготовки на первой операции необходимо учитывать тот факт, что варианта, дающего наилучшее решение одновременно всех задач, не существует.

В одном варианте более удачно решаются одни задачи, но менее удачно другие. Во втором, третьем и т.д. вариантах будут получены совсем другие результаты. Это вынуждает рассматривать в каждом из вариантов базирования возможно большее количество задач и найти им всем наиболее приемлемое решение.

6 ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

6.1 Общие понятия и определения

Общим припуском на обработку Z_0 называется слой материала, который необходимо удалить с заготовки на всех операциях для получения окончательно обработанной поверхности детали с требуемыми параметрами качества. Слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении отдельной операции (перехода) называется **операционным припуском**.

Установление оптимальных припусков на обработку имеет большое технико-экономическое значение.

Припуск измеряется по нормали к обрабатываемой поверхности. Для тел вращения он задается на диаметр. При обработке плоскостей припуск может задаваться на сторону.

Так как операционные размеры не могут выполняться абсолютно точно, то фактическая величина припуска колеблется в каких-то пределах. В связи с этим различают номинальный (расчетный), минимальный и максимальный припуски.

Рассмотрим схему расположения припусков и допусков при обработке вала за две операции: точение и шлифование (рисунок 6.1).

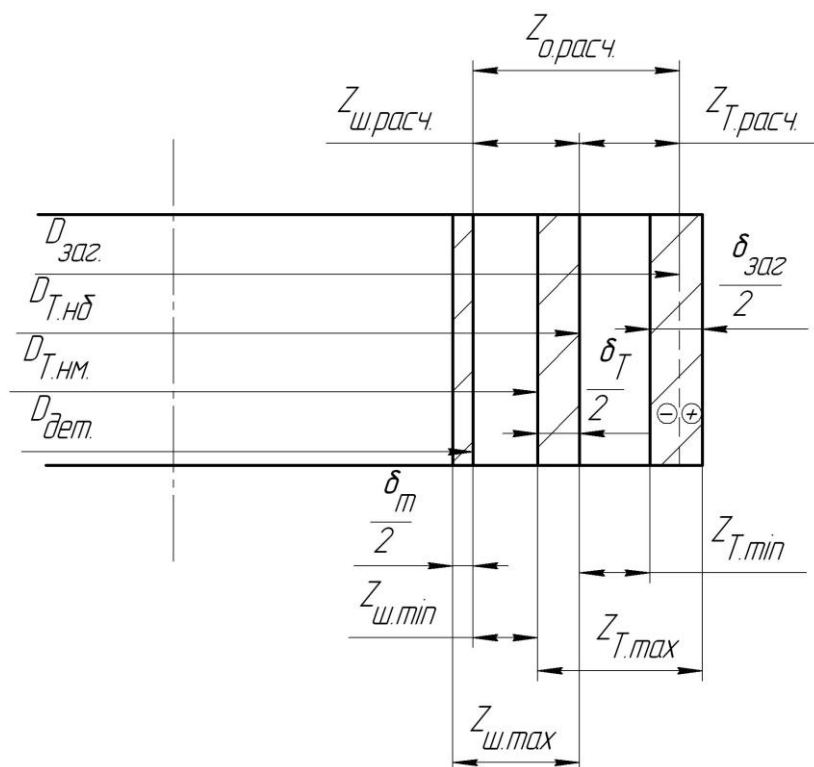


Рисунок 6.1. – Схема расположения припусков и допусков при обработке вала за две операции

Примем обозначение буквой Z припуска на сторону, а на диаметр – $2Z$.

Как видно из приведенной схемы, **общий расчетный** (номинальный) припуск $2Z_{0\text{расч.}}$ представляет собой разность номинальных размеров заготовки и готовой детали:

$$2Z_{0\text{расч.}} = D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}. \quad (6.1)$$

В то же время он равен сумме расчетных (номинальных) припусков на отдельные операции, а именно:

$$2Z_{0\text{расч.}} = \sum_1^n 2Z_{i\text{расч.}}, \quad (6.2)$$

где $2Z_{i\text{расч.}}$ – расчетный (номинальный) припуск на отдельную операцию;
 n – общее число операций.

В дальнейшем всем факторам, возникающим на предшествующей операции, будет присваиваться индекс $i - 1$, а на последующем – индекс i .

Минимальный операционный припуск $2Z_{i\text{min}}$ представляет собой разность наименьшего предельного размера детали на предшествующей операции (переходе) и наибольшего предельного размера на выполняемой операции.

Максимальный операционный припуск $2Z_{i\text{max}}$ представляет собой разность наибольшего предельного размера детали на предшествующей операции и наименьшего предельного размера на выполняемой операции.

Следовательно,

$$2Z_{i\text{max}} = 2Z_{i\text{min}} + T_{i-1} + T_i, \quad (6.3)$$

где T_{i-1} и T_i – допуски на предшествующей и выполняемой операции.

Расчетный (номинальный) припуск на операцию $2Z_{i\text{расч.}}$ представляет собой разность номинальных размеров детали до и после обработки поверхностей на данной операции, т.е.

$$2Z_{i\text{расч.}} = 2Z_{i\text{min}} + T_{i-1}. \quad (6.4)$$

Для определения величины расчетного припуска на первой операции обработки заготовки, имеющей симметричное расположение поля допуска, учитывается лишь часть допуска, идущая от номинала в «тело» (т.е. минусовая часть допуска заготовки).

Как видно из формулы (6.4), увеличение допуска T_{i-1} на предшествующей операции вызывает увеличение припуска на последующую операцию.

6.2 Факторы, влияющие на величину припуска

Числовые значения припусков на обработку и допусков на размеры заготовок зависят от ряда факторов, степень влияния которых различна. К числу основных факторов относятся следующие:

1. Материал заготовки.
2. Конфигурация и размеры заготовки.
3. Вид заготовки и способ ее изготовления.
4. Требования к механической обработке, предъявляемые техническими условиями к параметрам качества.

Материал заготовки

У заготовок, получаемых литьем, поверхностный слой имеет твердую корку. Для нормальной работы лезвийного режущего инструмента необходимо, чтобы глубина резания была больше толщины корки отливки; исходя из этого требования и должен быть назначен припуск. Толщина корки может быть различной, она зависит от материала, размеров отливки и способов литья; для отливок из серого чугуна от 1 до 2 мм; для стальных отливок – от 1 до 3 мм.

При изготовлении поковок на них образуется слой окалины, который при дальнейшей механической обработке сильно увеличивает износ инструмента, поэтому глубина слоя обработки должна быть больше толщины слоя окалины.

Поверхностный слой у штамповок обезуглероживается и при обработке его необходимо удалить.

Конфигурация и размеры заготовок

Заготовки сложной конфигурации получить свободной ковкой затруднительно, поэтому для упрощения формы заготовки иногда оказывается необходимым увеличить припуск.

При изготовлении крупных отливок необходимо считаться с усадкой и назначать для них увеличенные припуски.

Вид заготовки и способ ее изготовления

В зависимости от вида заготовки и способа ее изготовления величина припуска и допуска на размер заготовки различны. Так для литья заготовки, изготовленной ручной формовкой, припуск больше, чем в отливке машинной формовки; припуск в отливке, полученной в земляную форму, больше, чем в заготовке, отлитой в кокель, и т.д.

Требования к механической обработке

В соответствии с требованиями к шероховатости поверхности и точности размеров детали принимается тот или иной способ обработки. Для

каждой механической операции необходимо оставить тот или иной припуск, снимаемый режущим инструментом за один или несколько ходов. Следовательно, общий припуск находится в зависимости от способов механической обработки, требующихся для изготовления детали по техническим условиям.

Следует иметь в виду, что при термической обработке деталь несколько деформируется и размеры ее изменяются; в связи с этим нужно увеличивать припуск на механическую обработку.

6.3 Методы определения припусков

Различают следующие методы определения припусков:

1. Опытно-статический;
2. Расчетно-аналитический.

Опытно-статический метод

При этом методе общие и промежуточные припуски выбираются по таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых заводов. Недостаток этого метода заключается в том, что припуски назначаются без учета конкретных условий построения технологических процессов. Так, общие припуски назначаются без учета маршрута обработки данной поверхности, а промежуточные – без учета схемы установки и погрешностей предшествующей обработки. Припуски, назначенные опытнo-статистическим методом, во многих случаях завышены, так как они ориентированы на условия обработки, при которых припуск должен быть наибольшим во избежание брака.

Расчетно-аналитический метод

Метод разработан профессором В.М. Кованом. Согласно этому методу промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе. Данный метод определения припусков основан на учете конкретных условий выполнения технологического процесса обработки. Он выявляет возможности экономии материала и снижения трудоемкости механической обработки при проектировании новых и анализе существующих технологических процессов.

Учитывая минимальный промежуточный припуск, определяются следующие факторы.

1. Высота микронеровностей Rz_{i-1} , полученная на смежном предшествующем переходе обработки данной поверхности. При выполнении первой операции механической обработки эту величину выбирают по исходной заготовке. При выполнении второй операции нужно снять неровности, полученные на первой операции и т.д. Величина Rz_{i-1} зависит от метода, режимов и условий выполнения предшествующей обработки.

2. Состояние и глубина T_{i-1} поверхностного слоя, полученные на смежном предшествующем переходе (как правило, только дефектного). Этот слой отличен от основного металла. Он подлежит полному или частичному удалению на выполняемом переходе. У отливок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки, наружная зона которого нередко имеет следы формовочной смеси. Для создания благоприятных условий работы режущего инструмента этот слой полностью снимают на первом переходе обработки данной поверхности. Многие детали машин (например, распределительные валы автомобильных двигателей) отливают с отбеленным поверхностным слоем. При последующей обработке этот слой желательно сохранить для повышения износостойкости детали. У стальных поковок и штамповок заготовок поверхностный слой имеет обезуглероженную зону, которая должна быть полностью удалена, так как снижает предел выносливости детали.

В результате обработки резанием в поверхностном слое возникает зона наклепа, которую также желательно сохранить при последующей обработке, поскольку она повышает износостойкость детали и способствует снижению шероховатости поверхности. После поверхностной закалки слой детали также желательно в максимальной степени сохранить, потому что его ценные свойства быстро снижаются с увеличением снимаемого припуска.

3. Пространственные отклонения ρ_{i-1} расположения обрабатываемой поверхности относительно базовых поверхностей заготовки.

К пространственным отклонениям относятся несоосность наружной (установочной) поверхности и растачиваемого отверстия заготовок втулок, дисков и гильз; несоосность обтачиваемых ступеней базовым шейкам или линии центровых гнезд заготовок ступенчатых валов; неперпендикулярность торцовой поверхности оси базовой цилиндрической поверхности заготовки; непараллельность обрабатываемой и базовой поверхностей заготовок корпусных деталей и другие погрешности взаимного расположения обрабатываемых и базовых элементов.

В состав пространственных отклонений на первой операции также входит величина коробления обрабатываемой заготовки.

4. Погрешность установки Δ_i , возникающая на выполняемом переходе. Общий минимальный промежуточный припуск определяется суммированием величин Rz_{i-1} , T_{i-1} , ρ_{i-1} и Δ_i .

Отклонение размеров и погрешность формы (овальность, бочкообразность, седлообразность поверхностей вращения, вогнутость и выпуклость поверхностей и др.) обрабатываемой поверхности величиной минимального промежуточного припуска не учитываются. Это обусловлено тем, что минимальные припуски при обработке наружных поверхностей отсчитываются от наименьшего предельного размера заготовки, а при обработке внутренних поверхностей – от ее наибольшего предельного размера.

Пространственные отклонения и погрешности установки представляют собой векторы, так как они имеют не только величину, но и направление. Их суммируют по правилу сложения векторов. При обработке плоских поверхностей имеем коллинарные векторы $\bar{\rho}_{i-1}$ и $\bar{\Delta}_i$:

$$|\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\Delta}_i| = \rho_{i-1} + \Delta_i. \quad (6.5)$$

При обработке наружных и внутренних поверхностей вращения векторы $\bar{\rho}_{i-1}$ и $\bar{\Delta}_i$ могут принимать любое угловое положение, предвидеть заранее которое не представляется возможным. Наиболее вероятное суммарное значение этих векторов определяется их сложением по правилу квадратного корня

$$|\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\Delta}_i| = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \Delta_i^2}. \quad (6.6)$$

В некоторых случаях пространственное отклонение равно сумме нескольких (двум или даже трем) составляющих, каждая из которых представляет вектор. Например, смещение оси одной из средних шеек ступенчатого вала может быть следствием смещения оси центровых отверстий, несоосности данной шейки крайним шейкам, на базе которых производили центровку, а также искривления оси заготовки.

В этом случае

$$\rho_i = |\bar{\rho}_1 + \bar{\rho}_2 + \bar{\rho}_3| = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \rho_3^2}. \quad (6.7)$$

С учетом вышеизложенного могут быть получены следующие расчетные структурные формулы для определения минимального промежуточного припуска на обработку:

– припуск на сторону при последовательной обработке противоположных или отдельно расположенных поверхностей

$$Z_{i_{\min}} = (Rz_{i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \Delta_i); \quad (6.8)$$

– припуск на две стороны при параллельной обработке противоположных поверхностей

$$2Z_{i_{\min}} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + (\rho_{i-1} + \Delta_i)]; \quad (6.9)$$

– припуск на диаметр при обработке наружных или внутренних поверхностей вращения

$$2Z_{i_{\min}} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \Delta_i^2}]. \quad (6.10)$$

На основе приведенных общих структурных формул могут быть получены частные расчетные формулы для конкретных случаев обработки. В этих формулах в зависимости от условий выполнения операции исключают те или иные составляющие.

Например, при обтачивании цилиндрической поверхности заготовки, установленной в центрах, погрешность установки может быть принята равной нулю. Припуск на диаметр в этом случае

$$2Z_{i_{\min}} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + \rho_{i-1}]. \quad (6.11)$$

При обработке поверхности отверстий плавающей разверткой и протяжкой смещение и увод оси не устраняются, и погрешности установки при этом нет. Припуск $2Z_{i_{\min}} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1})$.

При суперфинишировании и полировании цилиндрической поверхности, когда уменьшается лишь шероховатость поверхности, припуск определяется высотой микронеровностей обрабатываемой поверхности, т.е. $2Z_{i_{\min}} = 2Rz_{i-1}$.

Промежуточные припуски рассчитываются после детального выяснения условий и особенностей выполнения технологических процессов получения заготовки и последующей обработки резанием. Припуск не должен быть меньше той глубины резания, при которой работа нормально заточенной режущей кромкой инструмента становится неустойчивой. Например, остро заточенный резец может снимать стружку толщиной око-

ло 5 мкм. Однако через короткое время кромка затупляется, и резец снимает стружку с минимальной толщиной около 10–20 мкм.

Предельные промежуточные и исходные размеры заготовки

На основе расчета промежуточных припусков определяются предельные размеры заготовки по всем технологическим переходам.

При обработке за один рабочий ход на предварительно настроенном станке в результате упругих отжатий элементов технологической системы происходит изменение размеров заготовки. Оно заключается в том, что при обработке заготовки с наименьшим предельным размером a_{\min} выдерживаемый размер b_{\min} также получается наименьшим, а при обработке заготовки с наибольшим предельным размером a_{\max} , выдерживаемый размер b_{\max} получается наибольшим. В этих условиях минимальный промежуточный припуск

$$Z_{i_{\min}} = a_{\min} - b_{\min} ; \quad (6.12)$$

наибольший припуск

$$Z_{i_{\max}} = a_{\max} - b_{\max} . \quad (6.13)$$

Учитывая, что $a_{\max} = a_{\min} + T_a$ и $b_{\max} = b_{\min} + T_b$, получается

$$Z_{i_{\max}} = a_{\min} + T_a - T_b - b_{\min} . \quad (6.14)$$

Припуски, а также предельные, промежуточные и исходные размеры заготовки удобно рассчитывать, заполняя специальную карту. Методика расчета приведена в методическом пособии к курсовому проектированию и в справочниках технолога машиностроителя (см. список основной и дополнительной литературы).

7 РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

7.1 Общие понятия о технологических размерных цепях

Под размерным анализом технологических процессов (РАТП) понимаются способы выявления связей размерных параметров качества детали при ее изготовлении и расчет этих параметров путем решения технологических размерных цепей (РЦ).

Для осуществления РАТП необходимо уметь:

1. Анализировать взаимосвязи размерных параметров в процессе обработки заготовки до получения готовой детали.
2. Определять минимально необходимый припуск на обработку.

Размерный анализ технологических процессов базируется на основных положениях теории размерных цепей и методах их расчета, регламентируемых стандартами и другими нормативными техническими документами.

В зависимости от назначения размерные цепи (как и базы в машиностроении) подразделяются на:

- 1) конструкторские;
- 2) технологические;
- 3) измерительные.

Технологические размерные цепи в зависимости от решаемых задач можно подразделить на:

- 1) размерные цепи системы ЗИПС;
- 2) операционные цепи.

Размерные цепи системы ЗИПС применяются для установления взаимосвязей размерных параметров заготовки, приспособления, инструментов и станков в процессе выполнения отдельно взятых технологических операций.

Операционные размерные цепи представляют собой совокупность размеров (или других размерных параметров), образующих замкнутый контур и определяющих связь между операционными размерами (или другими параметрами) на различных стадиях обработки.

Точно также как и конструкторские, технологические РЦ в зависимости от вида и расположения звеньев в пространстве подразделяются на **линейные и угловые, плоские и пространственные**.

Размерные цепи для случаев, когда должна быть обеспечена 100%-ная годность деталей, рассчитываются по методу максимума – минимума. В тех случаях, когда экономически оправдан риск выхода за пределы до-

пуска величины замыкающего звена у части изделий, РЦ могут рассчитываться вероятностным методом.

Для операционных размерных цепей необходимо уточнение понятий замыкающего и составляющего звеньев, определения которых приведены в РД 50-635-87.

Указанные определения, являясь верными по своей сути, при решении операционных РЦ не дают в ряде случаев конкретных указаний, позволяющих причислить то или иное звено к категории составляющих или замыкающих. В стандартах и нормативных технических документах практически отождествляются понятия замыкающего и исходного звена. В операционных РЦ наиболее часто замыкающим звеном оказывается припуск, который не является исходным звеном, так как он не диктует исходных требований, предъявляемых к другим звеньям.

В связи с этим можно дать следующие определения.

Размеры обрабатываемых поверхностей детали, которые в операционных картах предписаны к обязательному исполнению в пределах заданных допусков, являются **составляющими звеньями** операционной РЦ.

Размер обрабатываемой поверхности детали, который получается в результате выполнения составляющих звеньев, называется **замыкающим звеном** операционной РЦ.

В операционных размерных цепях решаются задачи по определению номиналов размеров и отклонений, при которых в результате выполнения всего технологического процесса деталь будет полностью соответствовать требованиям чертежа по всем точностным параметрам, а также другие задачи.

Номинальный размер A_{Δ} замыкающего звена размерной цепи, состоящей из m звеньев, включая замыкающее, может быть найден из уравнения, называемого уравнением номиналов:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i A_i, \quad (7.1)$$

где ξ_i – передаточное отношение – величина, характеризующая влияние погрешности составлявшего звена на замыкающее;

i – порядковый номер звена.

Для линейных цепей с параллельными звеньями передаточные отношения равны:

$\xi_i = 1$ (увеличивающие звенья),

$\xi_i = -1$ (уменьшающие звенья).

Уравнение координаты середины поля допуска замыкающего звена аналогично уравнению номиналов:

$$\Delta_{0\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0i}, \quad (7.2)$$

где Δ_{0i} – координата середины поля допуска i -го звена.

Координата середины поля допуска определяет положение поля допуска относительно номинального размера. Значение ее для составляющего звена может быть определено по формуле

$$\Delta_{0i} = \frac{\Delta_{Bi} + \Delta_{Hi}}{2}, \quad (7.3)$$

где Δ_{Bi} , Δ_{Hi} – верхнее и нижнее отклонения i -того звена.

Поля рассеяния замыкающего звена при расчете по методу максимума-минимума можно найти из уравнения

$$\omega_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \omega_i, \quad (7.4)$$

где ω_i – поле рассеяния i -того звена.

Условимся называть уравнение (7.4) уравнением погрешностей, так как при решении технологических размерных цепей часто приходится под ω понимать допуск, погрешность или регламентированное колебание замыкающего или составляющих звеньев.

При вероятностном методе расчета уравнение погрешностей имеет вид

$$\omega_{\Delta} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \xi_i^2 \lambda_i^2 \omega_i^2}, \quad (7.5)$$

где t_{Δ} – коэффициент риска;

λ_{Δ} – относительное среднее квадратическое отклонение (безразмерный коэффициент).

При распределении по закону Гаусса $t_{\Delta} = 3$; $\lambda_{\Delta} = \frac{1}{3}$.

При размерном анализе технологических процессов решаются операционные размерные цепи. Эта разновидность технологических цепей отличается от описанных в РД 50-635-87 постановкой задачи и методикой расчета. Методику построения и расчета операционной размерной цепи

можно пояснить на одном из самых простых примеров взаимосвязи размерных параметров смежных операций при фрезеровании плоскости за один рабочий ход настроенным на размер инструментом (рисунок 7.1).

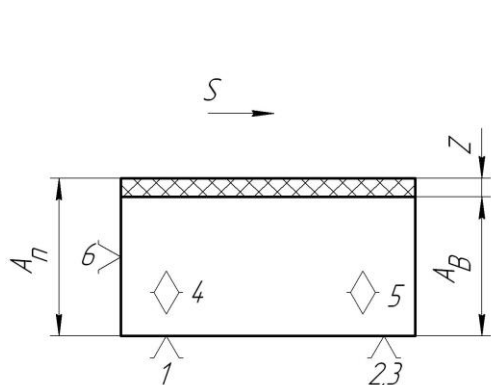


Рисунок 7.1. – Операционный эскиз с размерными связями

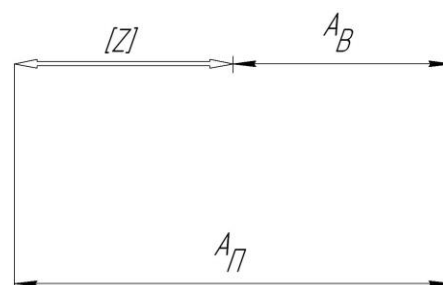


Рисунок 7.2. – Контур операционной размерной цепи

На рисунке 7.2 показан контур операционной размерной цепи, связывающей размер заготовки до начала обработки A_{Π} (предшествующий размер), размер после обработки A_B (выполняемый размер) и припуск на обработку Z .

Выполняемый размер является чертежным либо определяется из предыдущей операционной размерной цепи (подобной рассматриваемой). Обычно известны его номинал $A_{B_{ном}}$ и предельные отклонения $\Delta_{B_{AB}}$, $\Delta_{H_{AB}}$ или координата середины поля допуска $\Delta_{0_{AB}}$ и поле допуска (регламентированное колебание ω_{AB}).

Предшествующий размер на любой из операций технологического процесса является размером заготовки, поступающей на данную операцию.

В предельном случае (для первой операции) это будет размер исходной заготовки, поступающей на механическую обработку. У звена A_{Π} надлежит определить $A_{\Pi_{ком}}$ путем решения размерной цепи. Допуск размера $\omega_{A_{\Pi}}$ и предельные отклонения $\Delta_{B_{A_{\Pi}}}$, $\Delta_{H_{A_{\Pi}}}$ назначаются из технологических соображений в соответствии с возможностями выбранного оборудования. Следовательно, может быть найдена и координата середины поля допуска $\Delta_{0_{A_{\Pi}}}$. Замыкающим звеном в рассматриваемой цепи является припуск Z , размер A_{Π} является увеличивающим составляющим звеном, а размер A_B уменьшающим.

Такая задача не отвечает определению ни прямой, ни обратной задачи по РД 50-635-87, так как в ней неизвестными величинами выступают параметры как замыкающего, так и составляющего звеньев.

Приведем методику решения этой задачи. Сначала из уравнения координат середины полей допусков находится координата середины поля колебания замыкающего звена:

$$\Delta_{0_z} = \Delta_{0_{A_{\Pi}}} - \Delta_{0_{A_B}}. \quad (7.6)$$

Затем из уравнения погрешностей определяется поле колебания замыкающего звена

$$\omega_z = \omega_{A_B} + \omega_{A_{\Pi}}. \quad (7.7)$$

Номинальный размер замыкающего звена вычисляется по формуле

$$Z_{\text{ном}} = Z_{\text{мин}} - \Delta_{0_z} + \frac{\omega_z}{2}. \quad (7.8)$$

Тогда появляется возможность найти номинал A_{Π} из уравнения номиналов

$$A_{\Pi} = Z_{\text{ном}} + A_B. \quad (7.9)$$

Следует отметить, что данная методика применяется довольно часто, хотя и не исчерпывает всех случаев, встречающихся при расчете технологических размерных цепей.

В ряде случаев при расчете технологических размерных цепей по методу максимума-минимума оказывается удобным пользоваться формулами, устанавливающими взаимосвязь максимального A_{Δ}^{\max} и минимального A_{Δ}^{\min} значений замыкающего звена с максимальными и минимальными значениями составляющих звеньев:

$$\left. \begin{aligned} A_{\Delta}^{\max} &= \sum \overrightarrow{A_i^{\max}} - \sum \overleftarrow{A_i^{\min}} \\ A_{\Delta}^{\min} &= \sum \overrightarrow{A_i^{\min}} - \sum \overleftarrow{A_i^{\max}} \end{aligned} \right\}, \quad (7.10)$$

где $\sum \overrightarrow{A_i^{\max}}$ и $\sum \overleftarrow{A_i^{\min}}$ – суммы максимальных и минимальных значений увеличивающих звеньев соответственно;

$\sum \overleftarrow{A_i^{\max}}$ и $\sum \overrightarrow{A_i^{\min}}$ – суммы максимальных и минимальных значений уменьшающих звеньев соответственно.

Размерный анализ проводится после предварительного выбора варианта технологического процесса, т.е. предполагается, что он прошел стадию логической оценки и признан пригодным для дальнейшей проработки. Перед началом анализа рекомендуется оформить рассматриваемый вариант в виде операционных эскизов с указанием технологических баз, размерных линий, допусков размеров и технических требований расположения поверхностей, шероховатости поверхностей, типа применяемого оборудования.

Проведение размерного анализа технологического процесса начинается с параллельного выполнения следующих видов работ: построения размерных схем технологического процесса, назначения допусков на размеры исходной заготовки и размеры переходов, назначения минимально необходимой величины припуска на технологические переходы. Пример размерного анализа технологического процесса приведен в разделе 15.2 при выполнении практического занятия.

7.2 Назначение допусков

Назначение допусков на размеры исходной заготовки не представляет трудностей и осуществляется в соответствии с принятыми видом и методом получения заготовки.

При назначении допусков на размеры технологических переходов должно соблюдаться следующее условие:

$$T_{A_{\text{оп}}} \geq \omega_{A_{\text{ст}}} , \quad (7.11)$$

где $T_{A_{\text{оп}}}$ – задаваемый допуск на размер A технологической операции;

$\omega_{A_{\text{ст}}}$ – погрешность размера A , которая может возникнуть на данной операции при нормальном состоянии технологической системы (статистическая точность обработки).

При использовании данного правила назначения допусков на операционные размеры могут иметь место два случая:

1. $T_{A_{\text{оп}}} = \omega_{A_{\text{ст}}}$. Этот случай наиболее простой. По таблицам статистической (экономической) точности, содержащимся в справочной литературе, допуск на операционный размер назначают равным статистической точности $\omega_{A_{\text{ст}}}$.

2. $T_{A_{\text{оп}}} > \omega_{A_{\text{ст}}}$. Этот случай возникает более часто и может диктоваться экономическими и технологическими соображениями.

При расширении допусков стоимость операции может уменьшаться. Это происходит вследствие того, что более широкие допуски обеспечивают возможность работы на повышенных режимах, меньшие затраты времени на наладку станка, менее частые его подналадки, переточки инструмента, меньшую квалификацию рабочих и т.д. Однако расширение допуска на какой-либо операции приводит к увеличению средних припусков и, как следствие, к увеличению размеров заготовки и ее стоимости.

Таблицы точности составлены на основании сбора статистических данных в производственных условиях. При их составлении анализировались данные только таких операций, когда технологические базы и поверхности, от которых осуществляется настройка, совпадают с измерительными базами (погрешность от несовпадения баз $\Delta_6 = 0$) и когда обрабатываемые поверхности имели минимальные пространственные отклонения ($\rho_{\text{и}} \approx 0$).

Из сказанного выше следует, что допуски на размеры переходов должны назначаться с учетом выполнения технологической операции в конкретных условиях и в общем случае должно удовлетворяться равенство

$$T_{A_{\text{оп}}} = \omega_{A_{\text{ст}}} + \Delta_6 + \rho_{\text{и}}. \quad (7.12)$$

Причем в ряде случаев в равенстве (7.12) вместо погрешности базирования Δ_6 целесообразно учитывать погрешность установки Δ , определяемую суммой погрешности базирования и закрепления.

7.3 Припуски на обработку

На практике широко используют методику профессора В.М. Кована определения величины минимально необходимого припуска и расчета размеров на технологические переходы. В соответствии с этой методикой величина минимально необходимого припуска на i -тый переход определяется по формуле

$$Z_{i_{\text{min}}} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_i, \quad (7.13)$$

где $R_{z_{i-1}}$ – высота микронеровностей обрабатываемой поверхности, образованная на смежном предшествующем переходе;

T_{i-1} – глубина дефектного слоя, созданного на смежном предшествующем переходе;

ρ_{i-1} – величина пространственных отклонений во взаимном расположении обрабатываемой поверхности и технологической базы на данном переходе, возникшая на смежном предшествующем переходе;

Δ_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

При проведении размерного анализа технологического процесса величину минимально необходимого припуска $Z_{i\min}$ следует определять по формуле

$$Z_{i\min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1}, \quad (7.14)$$

так как прочие составляющие (ρ_{i-1} , Δ_i), в отличие от методики профессора В.М. Кована, учитываются отдельно.

Как отмечалось ранее, в технологических размерных цепях припуск на обработку чаще всего является замыкающим звеном. Исключение составляет случай, когда осуществляется обработка незамкнутой поверхности, являющейся технологической базой на данной операции. В этом случае припуск Z перестает зависеть от размера предшествующей обработки A_{Π} и размера, получаемого на выполняемой обработке A_B . Он зависит только от точности установки режущего инструмента относительно технологической базы. Следовательно, припуск приобретает значение составлявшего звена. Величина A_B , наоборот, становится зависимой от A_{Π} и Z , и ее колебание ω_{A_B} будет складываться из колебаний $T_{A_{\Pi}}$ и T_Z . Иными словами, звено A_B является замыкающим. Так как звено Z является составляющим, то допуск T_Z на него может быть найден как для звена – размера в соответствии с формулой (7.12).

Операционный припуск на механическую обработку, это разность расстояний между эквидистантными поверхностями, полученными на предыдущей и выполняемой операциях.

При назначении операционного припуска необходимо учитывать следующие обстоятельства:

1. Повторная обработка не диктуется необходимостью изменения шероховатости и качества поверхностного слоя.

Иногда возникает необходимость вести обработку в два прохода, оставляя качество поверхности таким же, каким оно получилось на предыдущей обработке. Такой вариант возникает тогда, когда точность размера не обеспечивается предыдущей обработкой.

В технологической операции, рассчитанной с использованием припуска Z_{\min} , режущий инструмент будет проходить у обрабатываемой поверхности, не касаясь ее, с зазором, равным Z_{\min} .

Такой прием расчета Z_{\min} обеспечивает уменьшение размеров заготовки и уменьшение средних и максимальных припусков на обработку.

2. В технологический процесс введена дополнительная черновая операция.

При использовании заготовок с широкими допусками колебания припуска на какую-либо поверхность могут оказаться большими.

Для устранения перегрузки режущего инструмента вводят дополнительную предварительную операцию или черновой рабочий ход. Для предварительной операции расчетное значение Z_{\min} может быть также принято отрицательным и равным по величине допуску на размер этой операции:
$$Z_{\min} = -T_{AB}.$$

Использование такого приема при расчете позволяет уменьшить номинальный размер заготовки на величину Z_{\min} . При этом на поле операционного эскиза дается примечание, что чернота на обрабатываемой поверхности допускается. При последующей обработке этой поверхности чернота будет удалена, но для этого в значение Z_{\min} последующей операции должны быть включены R_z и T , которые имели место у черновой поверхности.

Пример построения размерных цепей, их выявление и проверка размерной корректности ТП рассмотрены в методических указаниях к практическим занятиям (раздел 15.2).

8 МЕТОДЫ НАСТРОЙКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Для осуществления технологической операции прежде всего необходимо произвести наладку (настройку) системы ЗИПС.

Наладкой (настройкой) называется процесс подготовки технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции (ГОСТ 3.1109-82) [21].

В тех случаях, когда требуемая точность достигается методом автоматического получения размеров на настроенных станках, основная задача настройки – обеспечение точности взаимного расположения элементов технологической системы ЗИПС, определяющих требуемую траекторию перемещения режущих кромок инструментов относительно образующихся в процессе обработки на данной операции поверхностей заготовки. Эта задача, решение которой в значительной мере определяет точность обработки, является наиболее сложной и ответственной, требующей проведения специальных расчетов.

В настоящее время применяются следующие методы настройки технологической системы:

- статическая настройка;
- настройка по пробным заготовкам с помощью рабочего калибра;
- настройка с помощью универсального измерительного инструмента по пробным заготовкам.

Статическая настройка

Метод статической настройки заключается в установке режущих инструментов по различным калибрам и эталонам на неподвижном станке.

Для сокращения времени настройки установка инструмента производится по детали-эталону или специальному калибру, которые располагаются на станке вместо обрабатываемой заготовки. Инструмент доводится до соприкосновения с поверхностью калибра и закрепляется. Одновременно устанавливаются соответствующие упоры.

При статической настройке в связи с деформациями в упругой технологической системе, зависящими от действия сил резания, температурного режима системы и других факторов, размер обрабатываемой заготовки оказывается больше (для охватываемой поверхности) или меньше (для охватывающей поверхности) требуемого.

Для компенсации изменения фактических размеров обрабатываемых поверхностей деталей установочные калибры или эталонные детали при статической настройке изготавливаются с отступлением от чертежа детали

на величину некоторой поправки $\Delta_{\text{попр}}$. В этом случае расчетный настроечный размер $L_{\text{н}}$ установочного калибра определяется по формуле

$$L_{\text{н}}^{\text{расч}} = L_{\text{н}}^{\text{дет}} \pm \Delta_{\text{попр}}, \quad (8.1)$$

где $L_{\text{н}}^{\text{дет}}$ – размер детали, который должен быть фактически получен после обработки, когда настройка системы ведется посередине поля допуска заготовки

$$L_{\text{н}}^{\text{дет}} = (L_{\text{min}} + L_{\text{max}}) / 2,$$

L_{min} и L_{max} – наименьший и наибольший предельные размеры заготовки после выполнения операции соответственно;

$$\Delta_{\text{попр}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3, \quad (8.2)$$

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ – составляющие поправки, учитывающие соответственно упругие отжатия под действием силы резания, образующиеся в результате резания, шероховатость поверхности детали и величину зазора в подшипниках шпинделя.

В формуле (8.1) знак «минус» принимается для случая обработки охватываемой поверхности, а знак «плюс» – для охватывающей поверхности.

При односторонней обработке имеем

$$\Delta_1 = P_y / j. \quad (8.3)$$

При двухсторонней обработке (обработке тел вращения) значение Δ_1 , найденное по формуле (8.3), удваивается.

В связи с тем, что установка режущей кромки инструмента по калибру осуществляется соприкосновением ее вершины с калибром и при обработке поверхности детали положение вершины режущего инструмента определяет положение впадин микронеровностей, а измерение размера детали производится по выступам неровностей, измеренный размер оказывается больше размера калибра на величину

$$\Delta_2 = R_z, \quad (8.4)$$

где R_z – высота микронеровностей.

При двухсторонней обработке значение R_z удваивается.

При односторонней обработке поправка Δ_3 равна половине диаметрального зазора в сопряжении шпинделя с подшипником (принимается, что шпиндель, нагруженный усилием резания, смещается от детали

в направлении по нормали к обрабатываемой поверхности) и зависит от типа и марки станка. При двухсторонней обработке эта величина удваивается. Для токарных станков обычной точности Δ_3 принимается равной 0,04 мм, для станков повышенной точности $\Delta_3 = 0,02$ мм.

Статическая настройка обычно не создает условий для получения точности детали выше 9–10 квалитета точности.

Это приводит к необходимости дополнять статическую настройку динамической настройкой, проводя добавочное регулирование положения инструмента и упоров при обработке первых деталей партии.

Настройка по пробным деталям с помощью рабочего калибра

Статическую настройку с помощью рабочего калибра нельзя считать удовлетворительной, так как даже в наиболее благоприятном случае, когда допуск на обработку значительно превосходит поле рассеяния, нет гарантии того, что значительная часть деталей партии не окажется за пределами установленного допуска, т.е. будет браком. Кривая рассеяния, к которой принадлежит размер пробной детали, может занимать внутри поля допуска различные положения, и при изготовлении одной пробной заготовки нельзя определить, какому участку поля рассеяния она соответствует.

Это можно пояснить, используя графики на рисунке 8.1.

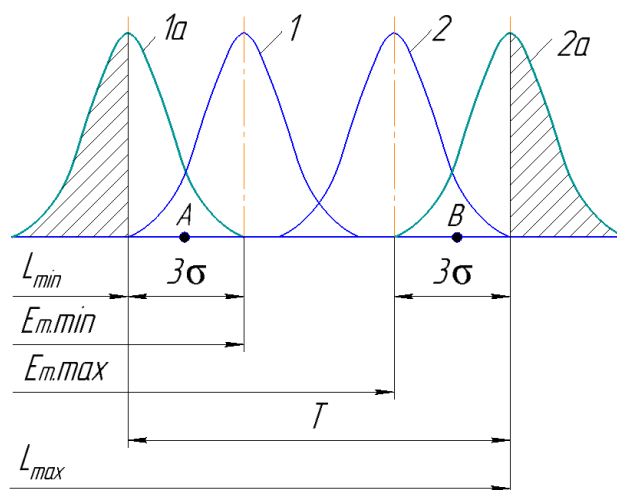


Рисунок 8.1. – Кривые рассеяния размера при настройке по пробным деталям

Точки A и B могут принадлежать кривым 1 и 2, расположение которых исключает опасность брака, но могут также относиться и к кривым 1a и 2a в значительной части выходящими за пределы допуска и связанными с появлением большого количества брака (заштрихованные участки).

При увеличении числа пробных деталей вероятность появления значительного числа бракованных деталей снижается, однако опасность появления брака не устраняется.

Для исключения появления брака в случае, когда поле допуска превышает поле рассеяния, т.е. $\omega < T$, необходимо с помощью настройки обеспечить расположение кривой фактического распределения размеров внутри поля допуска с таким расчетом, чтобы ее центр группирования отстоял от предельных размеров не менее, чем 3σ . Методом настройки станков по рабочим калибрам при небольшом числе пробных деталей эту задачу решить нельзя.

Более рациональным является метод настройки с помощью универсальных измерительных инструментов по суженным допускам.

Настройка по пробным деталям с помощью универсального измерительного инструмента.

Сущность этого метода настройки заключается в том, что установка режущих инструментов и упоров станка производится на определенный рабочий настроечный размер L_n , а правильность настройки устанавливается обработкой некоторого количества m пробных деталей. Настройка признается правильной, если среднее арифметическое размеров пробных деталей находится в пределах некоторого допуска T_n на настройку. Задачей настройки в этом случае является определение поля допуска настройки T_n .

Теоретическими предпосылками этого метода настройки, предложенного профессором А. Б. Яхиным, являются следующие положения теории вероятностей.

Если имеется некоторая совокупность (партии) деталей, распределение размеров которых подчиняется закону нормального распределения Гаусса со средним квадратичным σ , и если эту совокупность деталей разделить на группы по m штук и определить среднее арифметическое значение размеров внутри каждой из этих групп, то распределение размеров групповых средних $L^{гр.ср.}$ тоже будет подчиняться закону Гаусса со средним квадратичным:

$$\sigma_1 = \sigma / \sqrt{m}. \quad (8.5)$$

При этом центр группирования групповых средних совпадает с центром группирования размеров всей партии деталей (рисунок 8.2).

Пренебрегая износом инструмента, можно считать, что среднее арифметическое размеров m пробных деталей может отличаться от сред-

него арифметического всей совокупности (партии) детали не более, чем на величину $3\sigma/\sqrt{m}$.

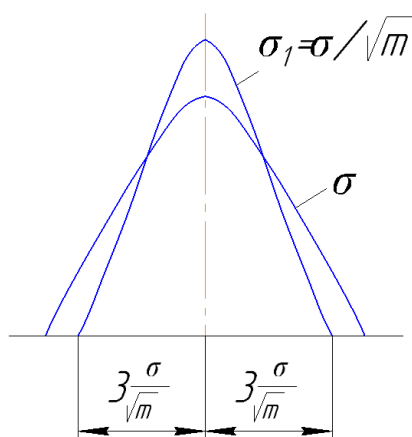


Рисунок 8.2. – Кривая распределения размера при настройке с помощью универсального измерительного инструмента

Расчет настройки без учета переменных систематических погрешностей

Если центр группирования размеров пробных деталей располагается по отношению к предельным размерам партии деталей ближе, чем на расстоянии 3σ (точка M на рисунке 8.3, *a*), то часть общей кривой рассеяния размеров обрабатываемой партии деталей может выйти за пределы допуска и возникает вероятность появления брака.

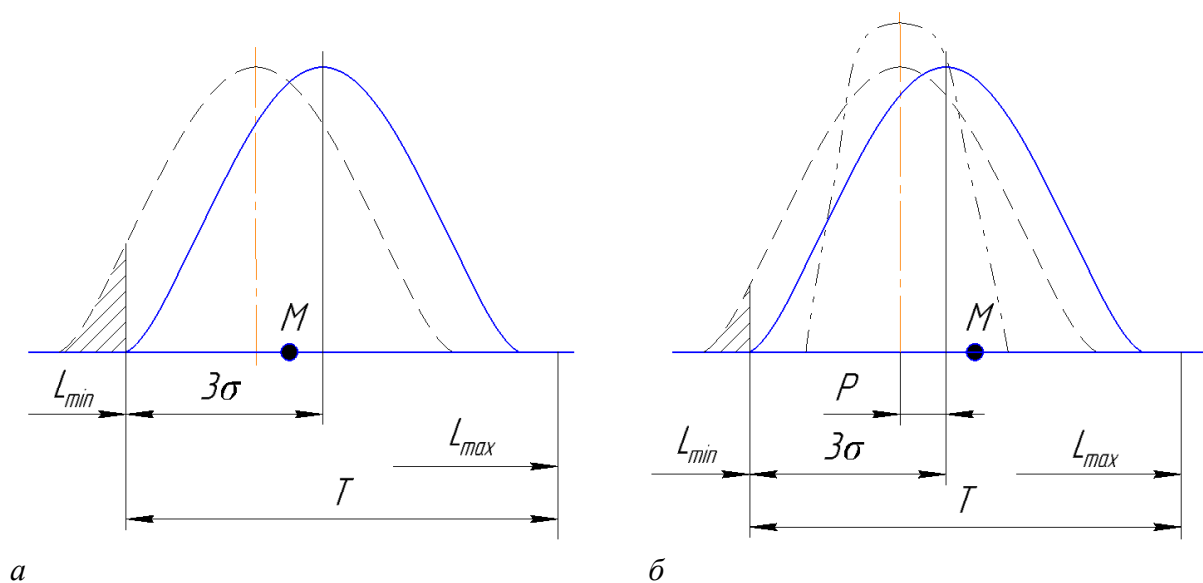


Рисунок 8.3. – Кривая распределения размеров пробных деталей с центром их группирования меньше (*a*) и больше (*б*) расстояния 3σ

Даже если это расстояние несколько больше (точка M на рисунке 8.3, б), то брак обрабатываемых поверхностей деталей возможен, так как точка M может принадлежать кривой групповых средних, центр группирования которых (а следовательно, и центр группирования размеров всей партии деталей) смещен на величину P влево от требуемого положения кривой, исключающего возможность брака.

Условие правильной настройки, исключающей опасность брака, графически можно изобразить, как показано на рисунке 8.4.

Брак является невозможным только в том случае, когда для минимального размера групповых средних пробных деталей, определяющий положение точки M , выполняется условие $L_{\min}^{\text{гр.ср.}} \geq L_{\min} + 3\sigma + 3\sigma / \sqrt{m}$ (рисунок 8.4).

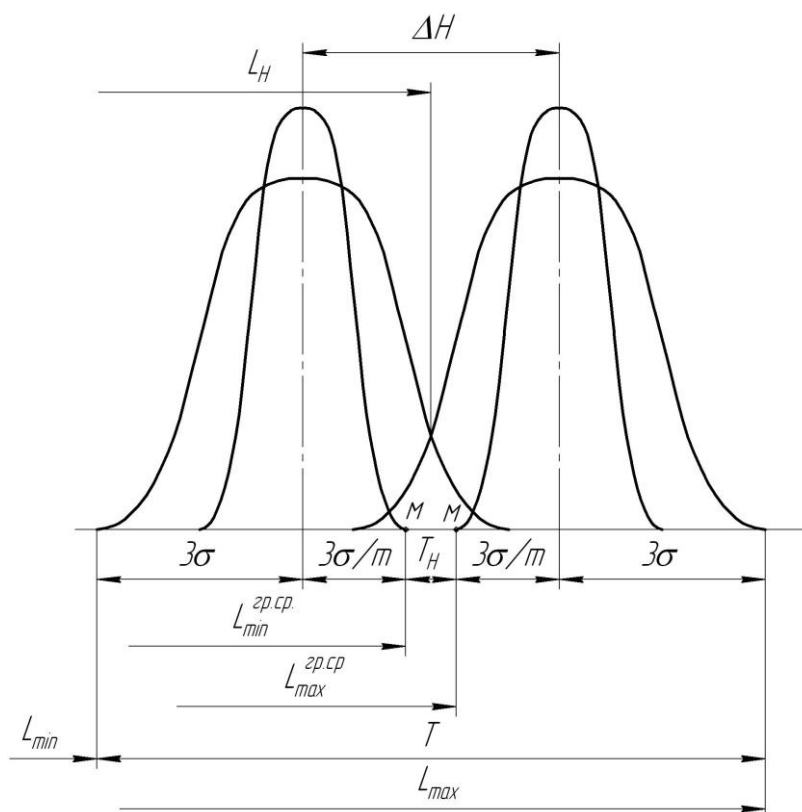


Рисунок 8.4. – Кривая распределения размера детали при настройке, исключающей брака

Очевидно, что при этом условии даже в том случае, когда центр группирования средних размеров располагается на расстоянии $3\sigma / \sqrt{m}$ левее точки M , он отстает от границы наименьшего предельного размера детали на величину 3σ , брак является невозможным.

Аналогично сказанному

$$L_{\max}^{\text{гр.ср.}} \leq L_{\max} - 3\sigma - 3\sigma / \sqrt{m}.$$

Разность предельных значений групповых средних размеров определяет величину допуска настройки, т.е.

$$T_n = L_{\max}^{\text{гр.ср.}} - L_{\min}^{\text{гр.ср.}}.$$

Очевидно, что допуск настройки выражается формулой

$$T_n = T - 6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) \quad (8.6)$$

и зависит от общего допуска на обработку партии деталей и от количества m пробных деталей.

Увеличивая число m пробных деталей, можно расширить допуск T_n настройки и тем самым облегчить ее, однако при этом возрастает время обработки пробных деталей. В общем случае

$$m \geq [6\sigma / (T - 6\sigma)]^2. \quad (8.7)$$

По данным профессора А.Б. Яхина, количество пробных деталей может быть принято от двух до восьми. Дальнейшее увеличение их количества неэффективно.

В соответствии с тем, что условие обработки поверхностей деталей без брака при отсутствии влияния систематических закономерно изменяющихся погрешностей имеет вид $\omega_m < T$ (ω_m – возможное поле рассеяния выполняемого размера для партии деталей), с учетом уравнения (8.6) его можно представить в виде формулы

$$6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) + T_n < T. \quad (8.8)$$

Необходимо отметить, что введенная в выражения (8.6) и (8.8) величина допуска настройки T_n не совпадает с погрешностью настройки $\Delta_n = \omega_n$, рассчитываемой по формуле

$$\Delta_n = \omega_n = 1,2\sqrt{\omega_{\text{рег}}^2 + \omega_{\text{изм}}^2 + \omega_{\text{смещ}}^2}, \quad (8.9)$$

где $\omega_{\text{рег}}$ – погрешность регулирования положения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности детали (принимается равной цене деления регулировочного устройства или предельной погрешности измерительного инструмента, с помощью которых регулируют положение режущего инструмента);

$\omega_{\text{изм}}$ – погрешность измерения пробных деталей (принимается равной погрешности используемого измерительного инструмента);

$\omega_{\text{смещ}}$ – величина смещения центра группирования средних размеров, которая определяется формулой

$$\omega_{\text{смещ.}} = \omega_{\text{н}} / \sqrt{m} = 6\sigma / \sqrt{m}. \quad (8.10)$$

Из рисунка 8.4 видно, что погрешность настройки определяет расстояние между крайними допустимыми положениями вершин кривых рассеяния при настройке.

Допуск $T_{\text{н}}$ настройки представляет собой разрешенное колебание значений групповых средних, вызываемое погрешностями регулирования и измерения, и является частью общей погрешности настройки.

В зависимости от погрешностей регулирования и измерения допуск настройки можно определять по формуле

$$T_{\text{н}} = 1,2 \sqrt{\omega_{\text{рег}}^2 + \omega_{\text{изм}}^2}. \quad (8.11)$$

Рассмотренный метод настройки применяется при обработке точных поверхностей деталей, когда поле допуска незначительно превышает рассеяние размеров, что делает невозможным предусмотреть заранее компенсацию переменных систематических погрешностей обработки (например, износ инструмента). Этот метод приемлем также при обработке поверхностей деталей, когда износ инструмента незначителен (например, при алмазной обработке цветных сплавов), а также при обработке небольших партий деталей, когда износ инструмента не может оказать серьезного влияния на потерю точности обработки.

При этом настроечный размер определяется по формуле

$$L_{\text{н}} = \frac{L_{\text{min}} + L_{\text{max}}}{2} \pm 0,5T_{\text{н}}. \quad (8.12)$$

Расчет настройки с учетом переменных систематических погрешностей

В процессе обработки крупных партий деталей, сопровождаемой интенсивным износом режущего инструмента, при настройке возникает задача наиболее рационального расположения кривой рассеяния в поле допуска с целью использования значительной части этого поля для компенсации переменных систематических погрешностей обработки. Таким образом,

удается увеличить срок работы станка без поднастройки, а следовательно, и повысить производительность.

Рассмотрим схему рациональной настройки станка для обеспечения требуемой точности охватываемого размера (рисунок 8.5).

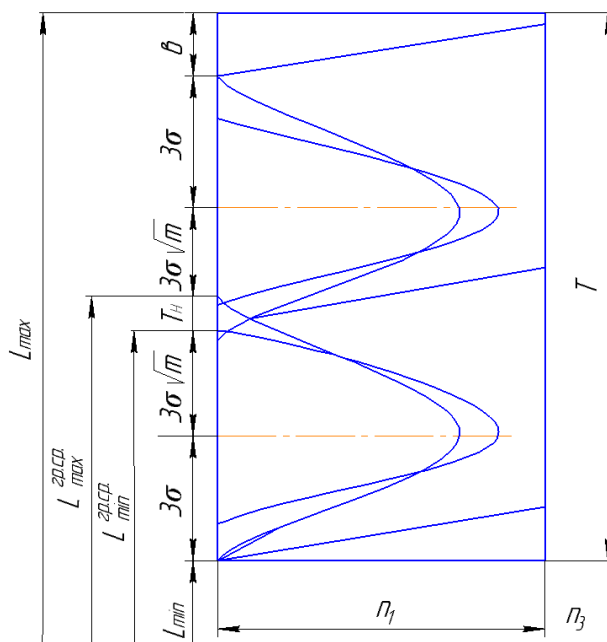


Рисунок 8.5. – Схема кривых распределения размера при рациональной настройке станка

Из рисунка 8.5 видно, что некоторая часть T_H общего поля допуска T используется для компенсации погрешности настройки. Вторая часть общего поля допуска предназначена для компенсации случайных погрешностей, вызывающих рассеяние размеров. Остальная часть поля допуска δ используется для компенсации погрешностей, порождаемых совокупным действием закономерно изменяющихся систематических факторов.

При такой настройке, очевидно, нельзя определять настроечный групповой средний размер по величине среднего арифметического, а необходимо вычислить его по значениям предельных размеров.

Во избежание получения размера, выходящего за нижнюю границу поля допуска, необходимо, чтобы минимальное значение группового среднего размера удовлетворяло выражению

$$L_{\min}^{\text{гр.ср.}} = L_{\min} + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}). \quad (8.13)$$

При наличии существенного влияния переменных систематических погрешностей, уменьшающих размеры охватываемых поверхностей дета-

лей (например, значительное удлинение резца от нагрева в начальный период резания), в формулу (8.13) необходимо дополнительно ввести возможную величину погрешности a , т.е.

$$L_{\min}^{\text{гр.ср.}} = L_{\min} + a + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}). \quad (8.14)$$

В большом числе случаев обработки поверхностей деталей n_3 (особенно в процессе охлаждения) значение a ничтожно мало, и наименьший настроечный размер рассчитывается по формуле (8.13).

Формула для подсчета максимального значения группового среднего размера (с учетом части допуска b , используемой для компенсации переменных систематических погрешностей) имеет вид

$$L_{\max}^{\text{гр.ср.}} = L_{\max} - b - 3\sigma(1 - 1/\sqrt{m}). \quad (8.15)$$

Допуск на настройку определяется разностью предельных значений групповых средних размеров и после преобразований формул (8.13) и (8.15) приводится к виду

$$T_{\text{н}} = T - 6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) - b. \quad (8.16)$$

Полученная формула (8.16) отличается от выражения (8.6) тем, что при учете переменных систематических погрешностей допуск настройки $T_{\text{н}}$ уменьшается на величину b , предназначенную для компенсации влияния этих погрешностей на точность выполняемого размера.

9 ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВКИ НА СТАНКЕ

9.1 Жесткость технологической системы «заготовка – инструмент – приспособление – станок»

При обработке заготовок на металлорежущих станках силы резания и силы зажима воздействуют на детали станка, заготовку, приспособление и режущий инструмент. Вследствие этого происходит их деформирование, изменение стыковых зазоров и положения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемых поверхностей детали, что приводит к изменению размера обрабатываемых поверхностей детали и отклонения от правильной геометрической формы.

Понятие жесткости применительно к станкам и их узлам было введено в 1936 г. К.В. Войтиновым, который одним из первых начал исследования в этой области. По его определению под жесткостью понимается «способность узла сопротивляться появлению других отжатий».

В настоящее время **под жесткостью** упругой системы «заготовка–инструмент–приспособление–станок» понимается ее способность оказывать сопротивление действия деформирующих сил. Жесткость определяется отношением действующей силы к деформации, вызываемой этой силой. На точность обрабатываемой поверхности больше всего влияет составляющая силы резания, направленная по нормали к этой поверхности. Под жесткостью какого-либо элемента технологической системы (например, шпиндельного узла станка) j понимается отношение составляющей P_y силы резания к смещению y данного элемента по нормали к обрабатываемой поверхности:

$$j = \frac{P_y}{y}, \left(\frac{\text{кгс}}{\text{мм}} \right) \text{ или } \left(\frac{\text{Н}}{\text{м}} \right). \quad (9.1)$$

Упругие свойства элемента технологической системы можно также характеризовать его **податливостью**, которая представляет собой величину, обратную жесткости. Она определяется отношением перемещения к силе:

$$\omega = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y}. \quad (9.2)$$

В общем случае податливость системы ЗИПС определяется по формуле

$$\omega_{\text{зипс}} = \omega_z + \omega_{\text{и}} + \omega_{\text{п}} + \omega_{\text{с}}, \quad (9.3)$$

где ω_z – податливость заготовки;

- $\omega_{\text{и}}$ – податливость инструмента;
- $\omega_{\text{п}}$ – податливость приспособления;
- $\omega_{\text{с}}$ – податливость станка.

С увеличением жесткости повышается точность обработки. Увеличение жесткости достигается:

- уменьшением числа стыков в конструкциях станков и приспособлений;
- предварительной затяжкой неподвижных стыков с помощью резьбовых и клиновых креплений, а также созданием натяга в подшипниках качения шпиндельных узлов;
- тщательной пригонкой сопрягаемых поверхностей и уменьшением зазоров;
- сокращением длины консоли, высоты или вылета элементов технологической системы и увеличением размеров их опорной поверхности;
- использованием дополнительных опор, люнетов и направляющих скалок для заготовок и инструментов.

Для повышения точности обрабатываемых поверхностей деталей важно не только увеличивать жесткость элементов технологической системы, но и уменьшить ее неравномерность в различных сечениях и направлениях. При определении упругих отжатий элементов технологической системы сила резания рассчитывается по формулам теории резания, а жесткость находят экспериментально в статическом состоянии. Сила резания непостоянна по значению. При установившемся режиме резания она может мгновенно (скачкообразно) изменяться от некоторого максимального до минимального значения, что обуславливается характером стружкообразования и непостоянством снимаемого припуска. Точка приложения силы резания непрерывно перемещается по поверхности обрабатываемой заготовки, поэтому сила резания имеет не статический, а динамический характер.

При технологических расчетах упругих отжатий силу резания следует умножать на коэффициент динамичности k . При черновой обработке $k = 1,2 \div 1,4$, а при чистовой $k = 1,0 \div 1,2$, причем меньшие значения соответствуют безвибрационной обработке.

Жесткости суппортов, столов и кареток не зависят от режимов резания и представляют собой постоянную величину. Лишь жесткость шпинделей, смонтированных на подшипниках скольжения, с увеличением ча-

стоты вращения несколько повышается. Это обусловлено действием масляного клина и наличием гироскопического эффекта вращающихся масс.

В процессе обработки упругие перемещения заготовки и режущего инструмента нарушают установленную наладкой станка закономерность их относительного движения.

Рассмотрим упругие отжатия системы ЗИПС на примере обтачивания заготовки (рисунок 9.1). До начала обработки путем настройки станка устанавливается заданная глубина резания $t_{\text{зад}}$.

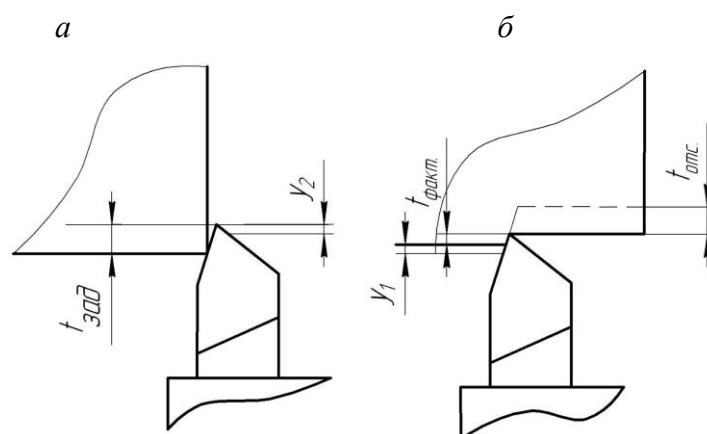


Рисунок 9.1. – Схема к определению упругих отжатий инструмента (а) и заготовки (б)

В процессе обработки заготовка упруго отжимается на величину y_1 , а инструмент на величину y_2 . В результате этого заданная глубина резания уменьшается до значения $t_{\text{факт}}$. Для отдельных сечений можно записать

$$y_1 + y_2 = t_{\text{зад}} - t_{\text{факт}}; \quad (9.4)$$

$$y_1 = \frac{P_y}{j_{\text{заг}}}; \quad y_2 = \frac{P_y}{j_{\text{инс}}},$$

где $j_{\text{заг}}$ – жесткость системы заготовка – приспособление – узел станка, на котором при обработке закрепляют заготовку;

$j_{\text{инс}}$ – жесткость системы инструмент – приспособление (для закрепления инструмента) – узел станка, на котором закрепляют инструмент.

P_y – радиальная составляющая силы резания:

$$P_y = C_y S^{y_p} t_{\text{факт}}^{x_p} HB^n.$$

Обозначив величину $C_y S^{y_p} HB^n$ через C , запишем $P_y = C t_{\text{факт}}^{x_p}$.

Подставляя развернутые выражения для y_1 , y_2 и P_y в равенство (9.4), получим

$$\left(\frac{C}{j_{\text{заг}}} + \frac{C}{j_{\text{инс}}}\right) \cdot t_{\text{факт}}^{x_p} + t_{\text{факт}} = t_{\text{зад}}.$$

При дробном показателе x_p точного решения этого уравнения относительно $t_{\text{факт}}$ нет. Пренебрегая влиянием упругих отжатий заготовки и инструмента на силу резания и обозначая $t_{\text{зад}} - t_{\text{факт}} = t_{\text{ост}}$, получим приближенное решение

$$t_{\text{ост}} = C \cdot t_{\text{зад}}^{x_p} \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{инс}}} \right). \quad (9.5)$$

Здесь выражение в скобках представляет собой податливость технологической системы. Используя полученную формулу, можно решать некоторые задачи, связанные с точностью механической обработки.

Определение погрешности выполняемого размера при обработке партии деталей

Зная разность между наибольшей и наименьшей величинами $t_{\text{зад}}$ или поле допуска на размер детали, можно получить соответствующее поле рассеяния выполняемого размера как разность между наибольшей и наименьшей величинами $t_{\text{ост}}$. Обозначим поле рассеяния выполняемого размера в данном сечении Δy .

Тогда $\Delta y = t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}$.

Используя выражение (9.2), получим значение

$$\Delta y = C \left(t_{\text{зад max}}^{x_p} - t_{\text{зад min}}^{x_p} \right) \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{инс}}} \right). \quad (9.6)$$

Жесткости $j_{\text{заг}}$ и $j_{\text{инс}}$ принимаются в направлении заданного размера. Формула (9.6) пригодна для условия, когда $C = \text{const}$. В действительности при обработке партии деталей их твердость изменяется от HB_{max} до HB_{min} . Кроме того, в процессе резания происходит прогрессирующее затупление режущей кромки инструмента, в связи с чем сила резания к концу его стойкости возрастает.

Таким образом,

$$C_{\text{max}} = C_{y \text{ max}} S^{y_p} HB_{\text{max}}^n ;$$

$$C_{\text{min}} = C_{y \text{ min}} S^{y_p} HB_{\text{min}}^n .$$

При определении $C_{y \min}$ нужно ориентироваться на работу вновь заточенным инструментом. При определении $C_{y \max}$ учитывают возрастание силы резания от допустимого отклонения параметров заточки. С учетом изложенного на основе формулы (9.6)

$$\Delta y = \left(C_{\max} t_{\text{зад max}}^{x_p} - C_{\min} t_{\text{зад min}}^{x_p} \right) \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{инс}}} \right). \quad (9.7)$$

Принимая во внимание нестабильность жесткости технологической системы, величину Δy нужно определять в тех сечениях, где жесткость минимальна.

Определение погрешности формы обрабатываемой поверхности индивидуальной детали

Выражая $y_{\text{заг}}$ (для некоторых частных случаев $y_{\text{инс}}$) как функцию размеров детали, можно вычислить погрешность формы обрабатываемой поверхности в результате изменения жесткости технологической системы на различных участках детали.

При обработке индивидуальной детали с постоянными и максимальными величинами $t_{\text{зад}}$ и C наибольшая погрешность формы обрабатываемой поверхности детали определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \Delta \phi &= t_{\text{осм.max}} - t_{\text{осм.min}} = \\ &= C_{\max} t_{\text{зад max}}^{x_p} \left[\left(\frac{1}{j_{\text{заг min}}} + \frac{1}{j_{\text{инс min}}} \right) - \left(\frac{1}{j_{\text{заг max}}} + \frac{1}{j_{\text{инс max}}} \right) \right]. \end{aligned} \quad (9.8)$$

Погрешность формы обрабатываемой поверхности уменьшается при выравнивании жесткости технологической системы в различных сечениях детали.

Определение степени уменьшения (копирования) погрешности формы, погрешности взаимного положения поверхностей и погрешностей размеров детали

В условиях упругой технологической системы погрешности, получаемые на предшествующем технологическом переходе, не могут быть полностью устранены на выполняемом переходе. С увеличением жесткости элементов технологической системы остаточные погрешности обрабатываемой заготовки уменьшаются. При постоянной жесткости технологической системы в различных сечениях обрабатываемой заготовки и показатели степени при глубине резания, равном единице, происходит копирова-

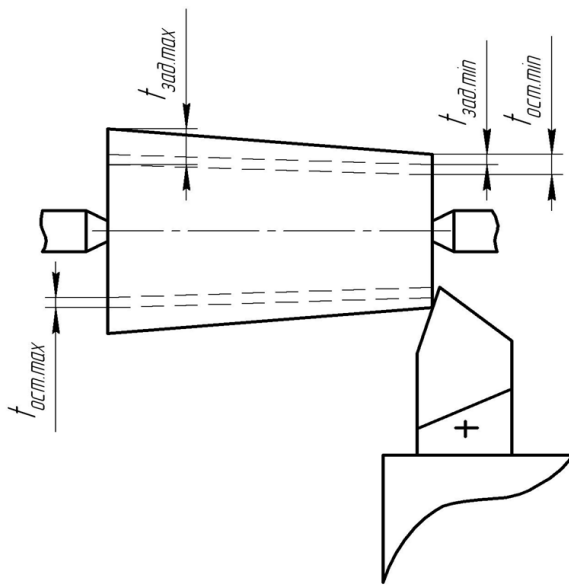


Рисунок 9.2. – Схема к определению степени уменьшения погрешности формы

ние первичных погрешностей заготовки в уменьшенном виде. Если, например, форма поверхности заготовки искажена, то после обработки величина искажения уменьшается, а вид искажения остается подобный. Предположим, что заготовка, из которой за один рабочий ход получают деталь длиной l , имеет конусообразность (рисунок 9.2).

Величина конусообразности определяется формулой

$$i_{\text{заг}} = \frac{2}{l} (t_{\text{зад max}} - t_{\text{зад min}}).$$

В результате непрерывно изменяющихся отжатый технологической системы из-за переменной глубины резания на детали появляется остаточная конусообразность

$$i_{\text{дет}} = \frac{2}{l} (t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}).$$

Коэффициент уменьшения погрешности формы для данного случая

$$K_y = \frac{i_{\text{дет}}}{i_{\text{заг}}} = \frac{t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}}{t_{\text{зад max}} - t_{\text{зад min}}}. \quad (9.9)$$

При погрешностях взаимного положения поверхностей заготовки первичные погрешности тоже копируются. В качестве примера рассмотрим точение торца заготовки, неперпендикулярного оси ее базовой шейки (рисунок 9.3).

После обработки за один ход торец останется плоским, а угол его перекоса уменьшится. Если торцовое биение до обработки равно $t_{\text{зад max}} - t_{\text{зад min}}$, то после обработки оно будет $t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}}$.

Коэффициент уменьшения погрешности определяется по формуле (9.9).

В условиях переменной жесткости технологической системы при обработке заготовки с геометрически правильной формой поверхности и постоянной величиной припуска величина $t_{\text{ост}}$ не будет стабильной из-за непрерывного изменения жесткости системы на различных участках заго-

товки. В этом случае форма обрабатываемой поверхности искажается. При наличии погрешностей формы заготовки и дробном показателе степени при глубине резания происходит дополнительное искажение формы обработанной поверхности. Тем не менее погрешности обработанной заготовки при достаточно большой жесткости технологической системы могут быть в несколько раз уменьшены по сравнению с погрешностями заготовки. В реальных условиях происходит не копирование, а последовательное уменьшение погрешностей в процессе обработки.

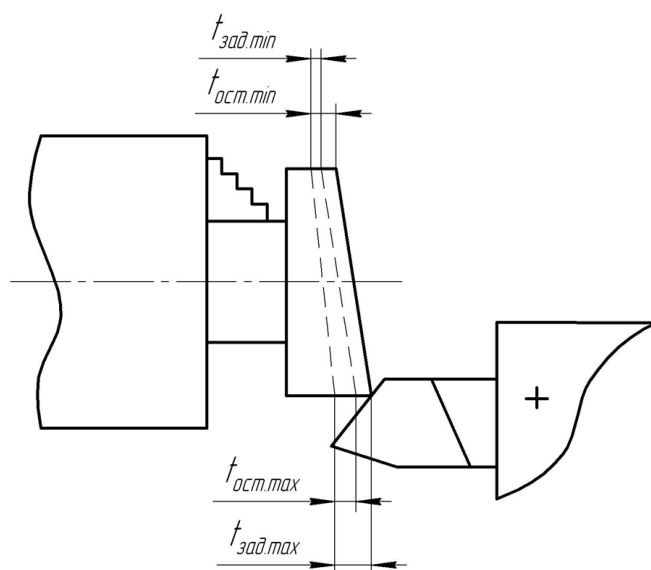


Рисунок 9.3. – Схема к определению степени уменьшения погрешности взаимного положения поверхностей

Коэффициент уменьшения погрешностей $K_y = \frac{\Delta_{дет}}{\Delta_{заг}}$,

где $\Delta_{дет}$ – погрешность обработанной поверхности детали;
 $\Delta_{заг}$ – погрешность заготовки.

Величину этого коэффициента при выдерживании размера в случае обработки партии заготовок можно найти по формуле (9.9), приняв

$$\Delta_{заг} = t_{зад\ max} - t_{зад\ min};$$

$$\Delta_{дет} = t_{ост\ max} - t_{ост\ min},$$

$$K_y = \frac{C_{max} \left(t_{зад\ max}^{x_p} - t_{зад\ min}^{x_p} \right) \left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{инс}} \right)}{t_{зад\ max} - t_{зад\ min}}.$$

При обработке за несколько рабочих ходов общий коэффициент уменьшения погрешностей

$$K_{0y} = K_{1y} \cdot K_{2y} \dots K_{ny},$$

где n – число рабочих ходов;

$K_{1y}, K_{2y} \dots$ – коэффициенты уменьшения погрешностей, полученные на отдельных рабочих ходах.

Коэффициент уменьшения погрешностей всегда меньше единицы, поэтому при большом числе рабочих ходов величина K_{0y} получается малой.

Рассмотрим обработку поверхности детали за несколько (n) рабочих ходов на одном станке, приняв $x_p = 1$ (обычно $0,9 < x_p < 1$). Согласно определению общий коэффициент уменьшения погрешностей

$$K_{0y} = \frac{\Delta_{\text{дет}}}{\Delta_{\text{заг}}} = \frac{\Delta_{\text{дет}}}{Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}},$$

где Z_{max} и Z_{min} – наибольший и наименьший припуски на все рабочие ходы обработки поверхностей партии деталей.

В то же время

$$K_{0y} = \frac{\Delta_{\text{заг } 1}}{\Delta_{\text{заг}}} \cdot \frac{\Delta_{\text{заг } 2}}{\Delta_{\text{заг } 1}} \dots \frac{\Delta_{\text{заг } n}}{\Delta_{\text{заг } n-1}}.$$

Здесь

$$\Delta_{\text{заг } 1} = C \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{инс}}} \right) \left[\left(\frac{Z_{\text{min}}}{n} + \delta_{\text{заг}} \right) - \frac{Z_{\text{min}}}{n} \right] = A \delta_{\text{заг}},$$

где $\delta_{\text{заг}}$ – допуск на размер заготовки,

$$A = C \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{инс}}} \right);$$

$$\Delta_{\text{заг } 2} = A \Delta_{\text{заг } 1} = A^2 \delta_{\text{заг}};$$

$$\Delta_{\text{заг } n} = A^n \delta_{\text{заг}}.$$

Приняв во внимание, что в приведенных выше выражениях

$$\Delta_{\text{заг } n} = \Delta_{\text{дет}} = C^n \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{инс}}} \right)^n \delta_{\text{заг}}, \quad (9.10)$$

и используя выражение (9.7), можно найти:

1) необходимую жесткость технологической системы, если заданы число рабочих ходов n , допуск на размер заготовки $\delta_{\text{заг}}$ и допустимая погрешность обработки детали $\Delta_{\text{дет}}$;

2) число рабочих ходов, если известны жесткость технологической системы, допуск на размер заготовки и допустимая погрешность обработки детали.

Анализ формул (9.7)–(9.9) позволяет сделать следующие выводы.

При обработке партии деталей на предварительно настроенном станке точность выдерживаемых размеров возрастает:

- с увеличением жесткости технологической системы, т.е. с уменьшением суммы $\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{инс}}}$ в формуле (9.7);

- с повышением точности выполнения исходных деталей, т.е. с уменьшением разности $t_{\text{зад. max}} - t_{\text{зад. min}}$;

- с повышением однородности механических свойств материала детали и стабильности условий выполняемой обработки, т.е. с уменьшением разности $C_{\text{max}} - C_{\text{min}}$.

При изготовлении индивидуальной детали на предварительно настроенном станке (или методом автоматического получения размера) возникающая погрешность формы обрабатываемой поверхности может быть уменьшена в результате выравнивания жесткости технологической системы, т.е. уменьшения выражения в квадратных скобках в формуле (9.8); уменьшения снимаемого припуска, т.е. глубины $t_{\text{зад}}$ (это, в частности, можно получить при обработке за несколько рабочих ходов), а также уменьшения силы резания вследствие улучшения геометрических параметров и качества заточки режущего инструмента, а в отдельных случаях и уменьшения подачи. Учитывая копирование, следует повышать точность формы обрабатываемой поверхности детали.

Для уменьшения погрешностей взаимного положения поверхностей детали нужно повышать жесткость технологической системы, точность выполнения детали (в результате чего уменьшается разность $t_{\text{зад max}}^{xp} - t_{\text{зад min}}^{xp}$), а также уменьшать силу резания.

Погрешность формы и взаимного положения обрабатываемых поверхностей детали уменьшают и другими способами. Погрешность формы можно уменьшить обработкой с непрерывно изменяющейся подачей. По мере приближения режущего инструмента к участку детали с наибольшей

жесткостью подача увеличивается. В результате этого можно получить постоянные значения $t_{\text{ост}}$ по всей обрабатываемой поверхности детали. Изменение подачи в функции пути должно происходить по такому закону, чтобы упругие отжатия (при постоянном припуске) были постоянны. При точении, например, гладкого вала, консольно закрепленного в патроне, закон изменения подачи по длине заготовки можно найти из выражения

$$t_{\text{ост}} = \frac{P_y l^3}{3EJ} = \frac{C_y t_{\text{зад}}^{x_p} S^{y_p} HB^n l^3}{3EJ} = \text{const}.$$

Отсчитывая l от места закрепления детали (при достаточной жесткости шпиндельного узла), можно получить выражение для подачи

$$S = y_p \sqrt{\frac{3EJ t_{\text{ост}}}{C_y t_{\text{зад}}^{x_p} l^3 HB^n}}.$$

Обработка с переменной подачей не только уменьшает погрешность формы поверхности, но и сокращает время ее обработки. Непрерывное изменение подачи в станках по заданному закону может быть обеспечено с помощью механических, гидравлических или иных устройств.

Точность обрабатываемых поверхностей и производительность обработки повышаются при применении адаптивных устройств управления технологическими системами. При непостоянстве припуска или твердости материала заготовок эти устройства самонастраиваются автоматически, изменяя режим обработки.

На станках с числовым программным управлением точность формы можно повысить, применяя изменение траектории движения режущего инструмента, записываемое на программноносителе. Так, при точении нежесткого вала в центрах продольную подачу резца следует осуществлять не по прямой, а по вогнутой линии, компенсирующей возникающую бочкообразность обработанной поверхности детали.

Изучение закона образования погрешностей формы и большие возможности станков с программным управлением позволяют полностью или в значительной степени устранить эти погрешности.

На основе зависимостей 9.4 и 9.5 можно получить расчетные формулы для различных случаев одноинструментальной обработки. При выводе этих

формул обобщенные значения $\frac{1}{j_{\text{заг}}}$ и $\frac{1}{j_{\text{инс}}}$ необходимо выразить через конкретные величины жесткостей элементов данной технологической системы.

В качестве примера рассмотрим изготовление гладкого вала в центрах токарного станка. Для любого поперечного сечения обрабатываемой поверхности детали

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{зад}} - t_{\text{фак}} = y_1 + y_2 + y_3,$$

где y_1 – смещение детали, вызываемое упругими отжатиями передней и задней бабок;

y_2 – прогиб детали в месте приложения силы P_y ;

y_3 – упругие отжатия суппорта.

По аналогии с перемещением жесткой балки на двух упругих опорах будем иметь

$$y_1 = \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_y}{j_{\text{п.б.}}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{P_y}{j_{\text{з.б.}}},$$

где x – расстояние от переднего центра до рассматриваемого сечения;

l – длина заготовки;

$j_{\text{п.б.}}$ – жесткость передней бабки;

$j_{\text{з.б.}}$ – жесткость задней бабки;

$$y_2 = \frac{P_y x^2 (l - x)^2}{3EI}; \quad y_3 = \frac{P_y}{j_{\text{суп.}}}$$

Учитывая, что $P_y = Ct_{\text{зад}}^{x_p}$, окончательно получим

$$t_{\text{ост}} = Ct_{\text{зад}}^{x_p} \left[\frac{\left(1 - \frac{x}{l}\right)^2}{j_{\text{п.б.}}} + \frac{\left(\frac{x}{l}\right)^2}{j_{\text{з.б.}}} + \frac{x^2 (l - x)^2}{3EI} + \frac{1}{j_{\text{суп.}}} \right].$$

Три первых слагаемых в квадратных скобках представляют собой развернутое выражение величины $\frac{1}{j_{\text{заг}}}$, а слагаемое $\frac{1}{j_{\text{суп.}}}$ – величину $\frac{1}{j_{\text{инс}}}$.

9.2 Размерный износ инструмента

В процессе обработки вследствие действия целого ряда факторов (сил трения, вибрации, сил резания, температуры, свойств смазочно-охлаждающей жидкости, материала инструмента и детали и т.д.) происходит изнашивание инструмента.

Размерный износ инструмента определяют в направлении по нормали к обрабатываемой поверхности детали путем умножения высоты фаски износа h на тангенс заднего угла α лезвия инструмента $u = h \operatorname{tg} \alpha$ (рисунок 9.4).

Зависимость размерного износа лезвия режущего инструмента от пути резания представлена на рисунке 9.5. Первый непродолжительный период работы режущего инструмента сопровождается повышенным размерным износом (участок I). Износ на этом участке получил название начального износа u_H . Его интенсивность в основном зависит от степени шероховатости поверхности инструмента, соприкасающейся с поверхностью детали, получаемой в процессе ее обработки.

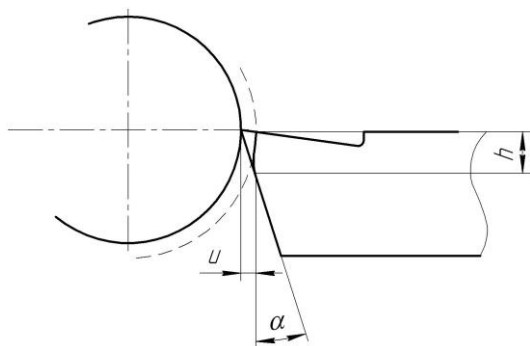


Рисунок 9.4. – Схема к определению размерного износа инструмента

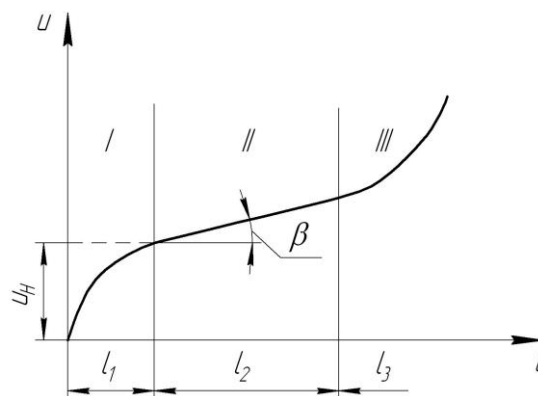


Рисунок 9.5. – Зависимость размерного износа от пути резания

На участке II происходит нормальное изнашивание, характеризующееся почти пропорциональным возрастанием размерного износа от пути резания. Наконец, третий участок кривой характеризуется быстрым изнашиванием инструмента, приводящим нередко к его разрушению. Обычно в конце участка нормального изнашивания прибегают к смене инструмента.

С точки зрения достижения требуемой точности обработки деталей наиболее целесообразным является использование участка кривой нормального изнашивания инструмента, называемого основным периодом работы инструмента, угол наклона касательной к этой кривой β характеризует интенсивность изнашивания. Интенсивность размерного износа принято называть относительным (удельным) износом u_O

$$u_O = \operatorname{tg} \beta = \frac{u_2}{l_2} \text{ (мм/м)},$$

где u_2 – размерный износ за время основного периода работы инструмента, мм;

l_2 – путь резания, соответствующий этому же периоду работы инструмента, м.

Для сокращения величины начального износа осуществляют доводку режущих кромок инструмента в процессе его изготовления или переточки. В ряде случаев опытные наладчики осуществляют «доводку» режущих кромок, например, резцов даже после их установки и закрепления на станке абразивными брусками вручную.

Относительный износ зависит от метода обработки, материалов заготовки и режущего инструмента, режимов резания и геометрических параметров режущего инструмента. С повышением твердости материала заготовки относительный износ возрастает. Глубина резания слабо влияет на относительный износ, а задний угол режущего инструмента – сильнее (с уменьшением заднего угла относительный износ возрастает). Наибольшее влияние на размерную стойкость инструмента оказывает скорость резания и ее колебания. В ряде случаев существенное, а иногда и решающее, значение оказывают вибрация, возникающая в системе ЗИПС, а также колебания силы резания, возникающие вследствие ряда причин, основными из которых являются колебания припуска на обработку и свойств материала заготовки.

Размерная стойкость инструмента больше всего зависит от качества материала режущего инструмента, его однородности и от стабильности качества изготовления инструмента.

Трение и изнашивание режущего инструмента имеют следующие особенности: трущиеся поверхности непрерывно обновляются и, следовательно, продукты изнашивания удаляются из зоны трения, давление и температура на контактных площадках задних и передних поверхностей весьма высокие.

Указанные особенности приводят к наличию значительных сил молекулярного сцепления между трущимися поверхностями, что вызывает явление адгезии – слипания или сваривания на контактных поверхностях. Слипшиеся частицы обрабатываемого материала с материалом инструмента при дальнейшем относительном движении трущейся пары подвергаются воздействию стружки или поверхности резания и удаляются, отрывая при этом с поверхности инструмента частицы режущего материала.

Изнашивание инструмента при значительных температурах контакта сопровождается явлением диффузии – взаимного растворения материалов

трущихся тел; в частности, диффузия углерода материала инструмента в обрабатываемый материал приводит к обезуглероживанию рабочих поверхностей инструмента и этим ускоряет износ. Процесс износа также сопровождается окислением. Образование на трущихся поверхностях пленок окислов препятствует адгезии и в результате этого снижает износ. Кроме того, на износ оказывает влияние адсорбция, так как прочность поверхностных слоев инструмента в связи с адсорбцией на них газовых сред (в частности, воздуха) понижается.

Зная величину начального износа u_H и интенсивность износа u_O , можно определить размерный износ на длине пути резания l :

$$\Delta u = u_H + \frac{u_O l}{10^3}. \quad (9.11)$$

Приняв за основу формулу (9.11), можно представить ее в следующем виде для различных видов обработки:

– при продольном точении

$$\Delta u = u_H + \frac{u_O \pi d l}{S}, \quad (9.12)$$

где d и l – соответственно диаметр и длина обрабатываемой поверхности (мм);

S – подача (мм/об);

– при строгании

$$\Delta u = u_H + \frac{u_O l B}{S}, \quad (9.13)$$

где l и B – длина и ширина обрабатываемой поверхности (мм);

S – подача (мм/дв. ход);

– при протягивании

$$\Delta u = u_H + u_O \frac{l \cdot n}{10^6}, \quad (9.14)$$

где l – длина протягиваемого отверстия (мм);

n – количество деталей в партии.

Если обтачивается длинный вал большого диаметра, то по мере перемещения резца от задней бабки к передней диаметр обрабатываемой поверхности непрерывно возрастает и поверхность получается конической. Появление конусности также наблюдается при растачивании глубоких отверстий.

При обработке партии деталей небольших размеров искажение формы поверхностей невелико. Размерный износ инструмента в этом случае проявляется в непрерывном увеличении размеров обрабатываемых поверхностей деталей в партии.

Уменьшить влияние размерного износа на точность обработки резанием можно периодической подналадкой станка за время стойкости инструмента. Этот метод может быть применен для резцов, фрез и других инструментов, допускающих корректировку настроечного размера изменением расстояния между поверхностью детали и режущей кромкой инструмента, а также для инструментов, имеющих регулировку (раздвижные развертки, борштанги).

При обтачивании, растачивании и строгании поверхностей деталей больших размеров небольшой размерный износ имеют резцы с широкой режущей кромкой. Они работают с большими подачами, поэтому путь резца в металле, а следовательно, и размерный износ инструмента малы. При обтачивании с поперечной подачей достижимая точность диаметров зависит не только от размерного износа резца, но и от наростообразования на его режущей кромке. Последнее уменьшает влияние размерного износа, но его действие нерегулярно из-за периодического возникновения и удаления нароста в процессе обработки.

При обработке поверхностей деталей методом пробных ходов от размерного износа зависит только точность формы обрабатываемой поверхности.

При обработке поверхностей деталей на настроенных станках размерный износ режущего инструмента можно контролировать проверкой деталей методами измерений их размеров или средствами статистического контроля. Размерный износ проявляется в непрерывном увеличении выполняемого размера. Подналаживая или меняя режущий инструмент, можно регламентировать влияние размерного износа на точность обрабатываемой поверхности. Таким образом, точность в определенной мере зависит от субъективного фактора.

Применение автоматических подналадчиков в значительной мере уменьшает влияние размерного износа режущего инструмента на точность обрабатываемой поверхности.

Приращение Δl радиальных размеров обрабатываемых поверхностей детали в результате размерного износа инструмента можно уменьшить, ограничивая размерный износ линией $a-a$; расстояние между осью абсцисс и линией $a-a$ равно некоторой части допуска K_8 на выполняемый размер (рисунок 9.6). Если размеры обрабатываемой поверхности детали

выходят за установленный предел, то подналадчик автоматически включается и корректирует положение режущего инструмента (работа подналадчика характеризуется вертикальными участками пилообразной линии).

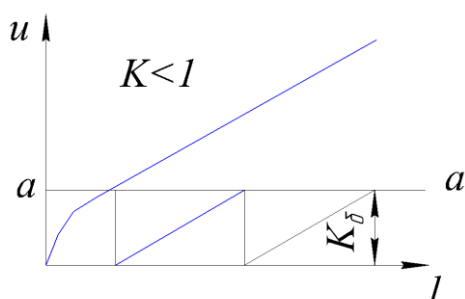


Рисунок 9.6. – Схема к корректировке радиального размера обрабатываемой поверхности детали по кривой зависимости износа инструмента от пути резания

Прогрессирующий износ и затупление режущего инструмента вызывают также увеличение радиальной составляющей силы резания. За период стойкости инструмента силы P_y может возрасти в 1,5–2,0 раза. При больших значениях P_y и пониженных жесткостях технологической системы погрешности обработки, вызванные возрастанием радиальной со-

ставляющей силы резания, могут быть сопоставимы по величине с погрешностями размерного износа инструмента.

При абразивной обработке на точность влияет размерный износ шлифовальных кругов. В процессе обработки шлифовальные круги могут работать с затуплением и самозатачиванием. В первом случае затупившиеся зерна не отделяются и поры круга забиваются стружкой; износ круга при этом сравнительно мал. Для восстановления режущих свойств шлифовальный круг правят, срезая тонкий наружный слой. Во втором случае затупленные зерна силами резания вырываются из связки круга. При этом режущая поверхность круга непрерывно обновляется, так как в работу вступают новые незатупленные зерна. Работа с самозатачиванием связана с большим износом круга. При этом круг также правят для восстановления геометрической формы, так как он изнашивается неравномерно. Интенсивность износа шлифовального круга зависит от его диаметра. Круги большого диаметра, применяемые при наружном круглом шлифовании, изнашиваются медленнее, чем круги, используемые при внутреннем шлифовании. Если при наружном круглом шлифовании круги правят через 15–20 мин, то на внутришлифовальных станках, работающих по автоматическому циклу, его правят перед каждым чистовым ходом.

При обработке поверхностей детали на круглошлифовальных и внутришлифовальных станках используются индикаторные скобы для измерения размеров детали в процессе обработки, а также средства активного контроля, что исключает влияние износа круга на точность детали.

На объем материала круга, теряемого при его износе, приходится в среднем 20 объемов удаляемого металла. На основе этого соотношения размерный износ Δu (на радиус) шлифовального круга можно рассчитать следующим образом. Обозначив F – площадь шлифуемой поверхности, мм²; z – снимаемый припуск, мм; n – число деталей в партии; F_k – рабочая площадь поверхности шлифовального круга, мм², получим

$$\frac{Fzn}{20} = \Delta u F_k,$$

откуда

$$\Delta u = \frac{Fzn}{20F_k}. \quad (9.15)$$

В соответствии с изложенным основными путями сокращения влияния размерного износа инструмента на точность обработки являются:

- 1) повышение стабильности качества изготовления инструмента;
- 2) повышение доводки его режущих кромок для сокращения величины начального размерного износа;
- 3) стабилизация сил резания;
- 4) сокращение вибрации в системе ЗИПС;
- 5) выбор наиболее экономичных режимов обработки;
- 6) своевременная смена инструмента для его переточки;
- 7) правильный выбор и применение смазочно-охлаждающих жидкостей;
- 8) своевременная компенсация размерного износа инструмента путем поднастройки размерных цепей системы ЗИПС;
- 9) правильная установка и закрепление инструмента с учетом изменения его геометрии при возникновении силы резания и упругих перемещений.

9.3 Тепловые деформации технологической системы

В процессе механической обработки происходит нагрев технологической системы, а при перерывах в работе – ее охлаждение. Источниками теплоты являются зона резания, узлы станка, внешние источники.

Тепловое состояние системы может быть стационарным и нестационарным. При стационарном тепловом состоянии наблюдается тепловое равновесие системы – подвод теплоты количественно равен ее потерям.

В этом случае температура отдельных звеньев технологической системы постоянна во времени. К условиям стационарного теплового состояния приближаются процессы обработки небольших заготовок на станках, прошедших период предварительного разогрева теплотой, возникающей от трения и отводимого из зоны резания смазочно-охлаждающей жидкостью. Нестационарное тепловое состояние наблюдается в период пуска станка после его длительной остановки.

Теплота, образующаяся в зоне резания, в значительной своей части уходит в стружку. Часть ее уходит через режущий инструмент, изменяя его температуру, и следовательно, размеры и относительное положение.

Часть теплоты удаляется в окружающую среду через обрабатываемую поверхность детали, нагревая и деформируя ее.

Теплота, образующаяся от работы трения в станке, изменяет температуру его деталей и тем самым их относительное движение и положение при работе в станке.

Все вместе взятое порождает температурные деформации системы ЗИПС, удельное влияние которых среди других составляющих погрешности обработки бывает различным.

По мере уменьшения допусков на обрабатываемые поверхности детали и увеличения режимов обработки влияние температурных деформаций возрастает. Это в первую очередь относится к обработке шлифованием и другим отделочным операциям.

Теплота, образующаяся в зоне резания, не только порождает температурные деформации системы ЗИПС, но и оказывает существенное влияние на стойкость режущего инструмента, а следовательно, на производительность обработки.

Если говорить не о системе в целом, а об отдельной детали, то всякий процесс можно считать нестационарным, если выделяющаяся при резании теплота заметно нагревает деталь.

Точный учет всех выделений и потерь теплоты сложен. Для упрощения задачи по выявлению влияния тепловых деформаций на точность механической обработки можно рассматривать два периода в работе станка: от начала пуска станка до получения теплового равновесия системы – период нестационарного теплового состояния; далее до окончания обработки – период стационарного теплового состояния.

Рассмотрим отдельно характер нагрева, тепловые деформации отдельных элементов технологической системы и их влияние на точность обработки.

Тепловые деформации станка

Нагрев станины, корпусных и других деталей станков происходит в результате потерь на трение в механизмах, гидроприводах и электроустройствах. Большое количество теплоты передается этим деталям смазочно-охлаждающей жидкостью, отводящей теплоту из зоны резания, а также от встроенных электродвигателей. Теплота передается также из внешней среды, окружающей станок.

Станины нагреваются в большинстве случаев неравномерно, что обусловлено нерациональным с точки зрения тепловых деформаций расположением электродвигателей, электронасосов, резервуаров для масла и охлаждающей жидкости и других источников тепловыделения. Разность температуры отдельных элементов станины может достигать 10°C. В этих условиях правильная форма станины и положение основных элементов станка нарушаются. При разработке новых конструкций станков необходимо добиваться выравнивания температурного поля станины и их лучшего охлаждения.

Одним из основных источников образования теплоты в станке является шпиндельная бабка. Температура в различных точках корпуса бабки изменяется в пределах 10÷50 °C. Наиболее высокая температура наблюдается в местах расположения подшипников шпинделя и подшипников быстроходных валов. Температура валов и шпинделей на 30÷40% выше средней температуры корпусных деталей, в которых они смонтированы. При большой длине шпинделя необходимо считаться с его осевым перемещением в результате нагрева, что влияет на точность обрабатываемых поверхностей. Если фиксация шпинделя от осевого перемещения осуществляется у заднего подшипника, то при длине L и разности температур между корпусом и шпинделем $\Delta\theta$ перемещение патрона в осевом направлении может быть определено по формуле

$$\Delta L = \alpha L \Delta\theta, \quad (9.16)$$

где α – коэффициент теплового расширения материала шпинделя.

Например, при $L = 800$ мм, $\Delta\theta = 10$ °C и $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ получим $\Delta L = 0,1$ мм.

Найденная величина может вызвать значительную погрешность выполняемого размера поверхности детали, обрабатываемой на настроенном станке, если ее не компенсировать периодическими подналадками станка.

Нагрев шпиндельных бабок изменяет положение оси шпинделя. Например, шпиндель передней бабки токарного станка может сместиться в вертикальной и горизонтальной плоскостях на несколько сотых долей миллиметра. Даже при небольших частотах вращения шпинделя это смещение может достигать до 0,05 мм в вертикальной и до 0,011 мм в горизонтальной плоскостях.

Точность обработанной поверхности детали зависит от удлинения винтов подачи из-за нагрева. Длина винта влияет на точность перемещений бабки шлифовальных станков. В неудачных конструкциях, где длина рабочего участка винта велика, погрешность может достигать 0,03–0,05 мм. Нагрев ходового винта резьбошлифовального станка на 1–3°C может вызывать появление погрешности шага, достигающей до 0,008 мм на длине винта 450 мм.

Приведенные выше примеры показывают, что температурные деформации станков оказываются во многих случаях соизмеримыми с допусками на обрабатываемые поверхности детали. Поэтому приходится предпринимать ряд мер для стабилизации температурных деформаций, которые позволяют в ряде случаев уменьшить их влияние на точность выполняемого размера обрабатываемой поверхности детали.

Основными мерами являются:

1. Поддержание температуры воздуха в помещениях в требуемых пределах, например, при изготовлении точных деталей на координатно-расточных станках температура в помещении поддерживается на уровне $20 \pm 0,5$ °C и даже в еще более узких пределах.

2. Дополнительное охлаждение или подогрев стенок станины или корпусных деталей для сокращения температурных деформаций. Например, у прецизионных резьбонарезных станков вводится охлаждение шпинделя и кареток путем пропускания через специально сделанные каналы охлаждающей жидкости требуемой температуры.

3. Предварительный разогрев станков до температуры, при которой создается устойчивое тепловое равновесие. Разогрев может осуществляться путем работы станка: на холостом ходу, на несколько форсированных режимах или путем искусственного нагрева.

4. Исключение длительных перерывов в работе станка, в течение которых он может заметно изменить температуру.

5. Применение СОЖ.

Тепловые деформации обрабатываемых поверхностей деталей

Кроме тепловых деформаций станка на точность обрабатываемых поверхностей влияют также их тепловые деформации, нагрев которых происходит в результате выделения теплоты в процессе резания. Основная часть теплоты аккумулируется в стружке, в обрабатываемую заготовку чаще всего переходит незначительная часть теплоты (при точении, фрезеровании, строгании, наружном протягивании); при сверлении большая часть теплоты остается в заготовке.

Во время токарной обработки в стружку уходит 50–85% теплоты, а при высоких скоростях резания свыше 90%; 10–40% теплоты переходит в резец; 3–9% остается в заготовке и около 1% рассеивается в окружающей среде. При сверлении в стружку уходит 28% теплоты; 14% переходит в сверло; 55% остается в заготовке и 3% уходит в окружающую среду.

При охлаждении стальных заготовок ее тепловые деформации незначительны и их влияние на точность обрабатываемой поверхности можно не учитывать.

Обработку заготовок из серого чугуна, бронзы и других материалов производят без охлаждения. В этом случае тепловые деформации будут большими.

Средняя температура нагрева заготовки

$$\theta = \frac{Q}{c\rho V}, \quad (9.17)$$

где Q – полученная заготовкой теплота резания;
 c – удельная теплоемкость материала заготовки;
 ρ – плотность материала заготовки;
 V – объем заготовки.

У большинства обрабатываемых поверхностей деталей производится или последовательная обработка отдельных участков одной поверхности, или обработка одновременно нескольких поверхностей. Из-за этого источник тепла, образующийся в зоне резания, непрерывно (например, при точении, сверлении) или с перерывами (при строгании) перемещается по обрабатываемой поверхности детали. Это обстоятельство вызывает неравномерный нагрев обрабатываемой поверхности детали и, как правило, не только изменение ее размеров, но и геометрической формы.

Расчеты температурного поля в этом случае трудоемки и связаны с решением дифференциальных уравнений второго порядка.

Расчеты показывают, что температурные деформации деталей соизмеримы в ряде случаев с допусками на их обработку. Например, температурная деформация чугуновой станины высотой 600 мм при длине 2000 мм доходит до 0,01 мм на 1 м при разности температуры по высоте станины в 2,4 °С. Эта величина соизмерима с допуском на отклонение от прямолинейности станин точных станков.

Тепловые деформации режущего инструмента

Несмотря на то, что при обработке резанием в инструмент переходит сравнительно небольшая доля образующейся теплоты, инструмент во многих случаях все же подвержен интенсивному нагреву. Температура нагрева рабочей поверхности резцов из быстрорежущей стали достигает 700–800 °С, с удалением от зоны резания температура державки резца заметно снижается.

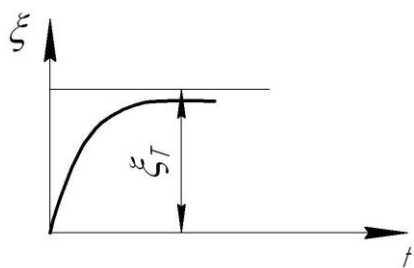


Рисунок 9.7. – Зависимость удлинения резца от времени обработки: ξ_T – удлинение резца при тепловом равновесии

В начале резания наблюдается быстрое повышение температуры резца. Затем ее рост замедляется и через непродолжительное время достигается состояния теплового равновесия. Характерная зависимость удлинения ξ консольной части резца от времени резания представлена в виде графика на рисунке 9.7.

При обычных условиях работы удлинение резца может достигать 30–50 мкм. Нагрев, а следовательно, и удлинение резца растут с увеличением подачи, глубины и скорости резания; резец удлиняется также с повышением предела прочности (твердости по Бринеллю) обрабатываемого материала заготовки.

Во время перерывов в работе, длительность которых равна промежутку между основными временами обработки T_0 выполняемых операций, резец охлаждается. Изменение длины резца при изготовлении партии деталей графически представлено на рисунке 9.8

Если работа протекает ритмично, то перерывы T процесса резания одинаковы и деформации резца постоянны для всех заготовок. При отсутствии ритмичности ($T \neq T_1$, $T_1 \neq T_2$) деформации резца различны. В этом случае рассеяние размеров детали в партии будет большим.

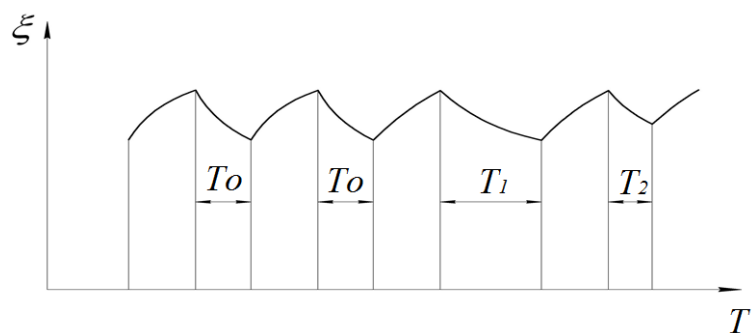


Рисунок 9.8. – Зависимость удлинения резца от времени обработки при изготовлении партии деталей

При обработке поверхности детали больших размеров тепловые деформации резца могут вызвать погрешность формы обрабатываемой поверхности.

10 КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ И ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

10.1 Геометрические и физико-механические параметры качества поверхности детали

Под **качеством** поверхности детали (заготовки) понимают состояние ее поверхностного слоя как результат механического или какого-то другого воздействия на него в ходе последовательно выполняемых операций технологического процесса.

Различают геометрические и физико-механические параметры качества поверхностей деталей.

Геометрические параметры реальной поверхности характеризуются погрешностями формы, волнистостью (макрогеометрические) и шероховатостью (микрогеометрические) поверхности.

Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине. В соответствии с ISO 1997 и JIS 2001 шероховатость поверхности оценивается по 22 параметрам.

По ГОСТ 2789 установлено шесть параметров шероховатости поверхности: Ra , Rz , $Rmax$, Sm , S и t_p .

Среднее арифметическое отклонение профиля определяется из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l :

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (10.1)$$

или приближенно

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (10.2)$$

где y – отклонение профиля, определяемое расстоянием между точкой и базовой линией и измеренное по нормали, проведенной к средней линии через эту точку;

n – число выбранных точек на базовой длине.

Высота неровностей профиля по десяти точкам определяется суммой средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины (рисунок 10.1):

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 H_{i\max} + \sum_{i=1}^5 H_{i\min} \right). \quad (10.3)$$

Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины представляет собой наибольшую высоту R_{\max} неровностей профиля.

Отрезок средней линии профиля, содержащий неровность профиля, называется шагом неровностей профиля. Средний шаг неровностей профиля S_m – это среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины.

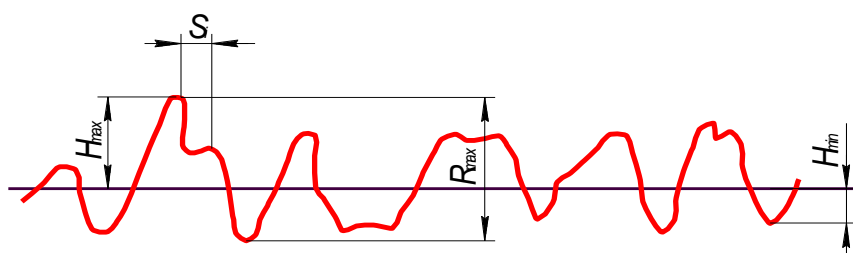


Рисунок 10.1. – Схема к определению шероховатости поверхности

Средний шаг местных выступов профиля S – это среднее значение шагов выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины.

Опорная длина профиля η_p определяется суммой длин отрезков b_i , отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии, в пределах базовой длины:

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i. \quad (10.4)$$

Для сопоставления размеров опорных поверхностей, обработанных различными методами, удобно пользоваться понятием относительной опорной длины профиля t_p , определяемой отношением опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}. \quad (10.5)$$

Стандарт распространяется на шероховатость поверхностей со следующими интервалами числовых значений параметров: $Ra = 100\text{--}0,008$ мкм; $Rz = R_{\max} = 1600\text{--}0,025$ мкм; $S = S_m = 12,5\text{--}0,002$ мм; $t_p = 90\text{--}10\%$ при $p = 90\text{--}5\%$ от R_{\max} ; $l = 25\text{--}0,01$ мм.

При необходимости устанавливают требования к направлению неровностей поверхности: параллельное, перпендикулярное, перекрещивающееся, произвольное, кругообразное, радиальное.

Требования к шероховатости устанавливают по одному или нескольким параметрам путем указания их числовых значений (наибольшего, номинального или диапазона значений) и значений базовой длины, на которой происходит определение параметра.

Кроме указанных в стандарте параметров шероховатости для инженерных расчетов часто используют такие параметры, как среднее квадратическое отклонение профиля в пределах базовой длины и высоту наибольшего профиля Rq – расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}. \quad (10.6)$$

Под волнистостью поверхности понимается совокупность периодически чередующихся неровностей с относительно большим шагом, превышающим принимаемую при оценке шероховатости базовую длину.

Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и погрешностью формы.

Критерием для разграничения шероховатости, волнистости и погрешности формы служит отношение шага к высоте неровностей. Для шероховатости $l/H < 50$; для волнистости $l/H = 50 \dots 1000$; для макрогеометрии $l/H > 1000$. Меньшие значения приведенных отношений лежат в области больших высот неровностей.

Форма и размеры микронеровностей, измеренные в различных направлениях, обработанной поверхности оказываются различными. Эти показатели, измеренные вдоль главного движения резания, характеризуют продольную шероховатость поверхности, а измеренные в направлении движения подачи – поперечную шероховатость.

Чаще всего величина поперечной шероховатости больше, чем продольной. Это объясняется тем, что на профиль и величину поперечной шероховатости наибольшее влияние оказывают геометрия режущей кромки инструмента и величина подачи, а на профиль и величину продольной шероховатости – физические явления процесса резания.

Оценку шероховатости поверхности заготовки обычно производят на основании измерения поперечной шероховатости. При некоторых видах обра-

ботки (торцовое фрезерование, доводка) продольная и поперечная шероховатости имеют одинаковые значения и могут измеряться в обоих направлениях.

Высота и форма неровностей, а также характер расположения и направление образующихся рисок зависят от вида и режима обработки; условий охлаждения и смазки инструмента; химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала; конструкции, геометрии и стойкости инструмента; типа и состояния используемого оборудования, вспомогательного инструмента и приспособлений.

Возникновение неровностей вследствие геометрических причин принято трактовать как копирование на обрабатываемой поверхности траектории движения и формы режущих лезвий.

В различных условиях обработки пластические и упругие деформации обрабатываемого материала и вибрация искажают форму микронеровностей, нарушают их закономерное распределение на поверхности и в значительной мере увеличивают их высоту. В ряде случаев пластические деформации и вибрация вызывают появление продольной шероховатости, достигающей значительных размеров, и иногда продольная шероховатость может превысить поперечную.

При обработке конструкционных сталей скорость резания в значительной мере влияет на высоту микронеровностей (рисунок 10.2). В зоне малых скоростей ($v = 2 \dots 5$ м/мин), при которых нарост не образуется, размеры микронеровностей незначительны. С увеличением скоростей размеры неровностей возрастают, достигая при скорости резания $v = 20 \text{--} 40$ м/мин наибольшего значения, что объясняется явлением наростообразования. При дальнейшем увеличении скорости нарост уменьшается и понижается высота неровностей. В зоне скоростей $v > 70$ м/мин, при которых нарост не образуется, шероховатость наименьшая.

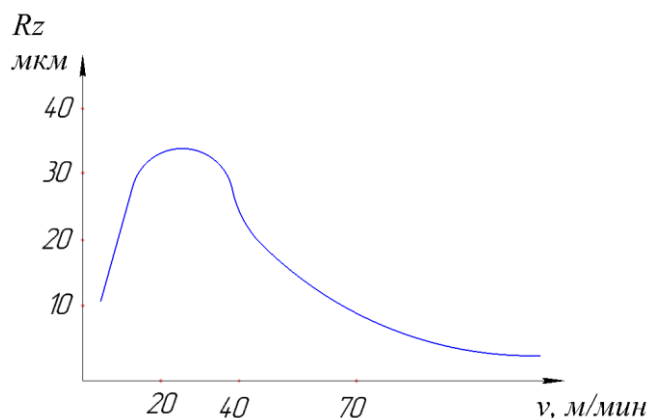


Рисунок 10.2. – Зависимость высоты неровностей от скорости резания

Подача по-разному влияет на шероховатость поверхности при разных видах обработки (рисунок 10.3). При точении стандартными проходными резцами с увеличением подачи высота неровностей возрастает интенсивно. Использование резца с широкой режущей кромкой размером, превышающим величину подачи, и углом, в плане равным нулю, при увеличении подачи не приводит к росту высоты неровностей. При осевых видах обработки и фрезеровании высота неровностей обработанной поверхности возрастает с увеличением подачи, но менее интенсивно, чем при точении.

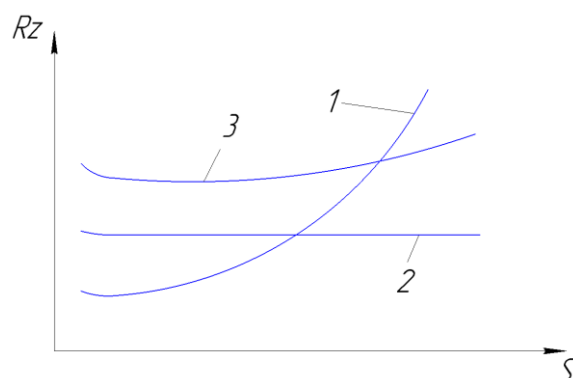


Рисунок 10.3. – Зависимость высоты неровностей от подачи при:
1 – точении стандартными проходными резцами ($\varphi = 45^\circ$, $r =$ до 2 мм);
2 – точении резцами с широкой режущей кромкой;
3 – сверлении и зенкерования, торцовом и цилиндрическом фрезеровании

При малых значениях подачи наблюдается рост высоты неровностей вследствие сопоставимости размера радиуса округления режущей кромки лезвия инструмента с толщиной срезаемого слоя (высотой неровностей) и добавлением, кроме геометрической, деформационной составляющей в формировании неровностей обрабатываемой поверхности.

Глубина резания не оказывает заметного влияния на шероховатость обрабатываемой поверхности.

Физико-механическое состояние поверхностного слоя

Поверхностный слой металла включает в себя наружную поверхность, имеющую непосредственный контакт с внешней средой (граничный слой), и нижний слой металла, отличающийся от основной части (сердцевины) металла своим строением, механическими, физическими и химическими свойствами.

Граничный слой

При идеально правильной структуре каждый атом, расположенный внутри металла, во всех направлениях подвергается воздействию силовых

полей окружающих его атомов и находится поэтому в состоянии подвижного устойчивого равновесия. Атомы, расположенные на поверхности, имеют связи только с соседними и нижележащими атомами и находятся в неуравновешенном состоянии. В результате этого граничный слой, включающий в себя примерно два ряда атомов, обладает запасом свободной поверхностной энергии.

Вследствие своей повышенной активности поверхность твердого тела неизбежно адсорбирует элементы окружающей среды и, как правило, бывает покрыта слоем адсорбированных газов, паров воды и жиров, часть осаждающихся прямо из воздуха.

Адсорбированные слои смазки, особенно поверхностно-активной, оказывают значительное влияние на величину поверхностной энергии, на процесс пластической деформации и прочность металла.

Поверхность, в особенности трещины и выходящие наружу межзерновые граничные прослойки на ней, являются как бы воротами, через которые чужеродные атомы проникают в твердое тело. Воздействие окружающей среды приводит к возникновению на поверхности различных химических соединений, наиболее типичными представителями которых являются различные оксиды.

Поверхностный слой

Ниже граничного слоя, покрытого пленкой жиров, водяных паров, адсорбированных пленок и окислов, обычно располагается **слой сильно деформированного и упрочненного металла.**

У металлов, находящихся в ненапряженном и отожженном состояниях, ниже слоя окисных пленок располагается основная поликристаллическая структура, включающая более или менее равновесные кристаллические зерна неправильной формы (обычно с размерами от 0,01 до 1,0 мм), связанные межзерновой прослойкой.

Межзерновая прослойка имеет искаженную кристаллическую решетку с дислоцированными атомами основного материала и примесей, интенсивно накапливающихся у границ зерен. Прослойка имеет разрыхленное строение с ослабленными силами сцепления и повышенной энергией атомов.

При нагреве межзеренные прослойки быстрее, чем внутренние зоны зерен, приходят в вязкое состояние, и по ним происходит скольжение, а иногда отрыв.

В кристаллах всегда существуют атомы, обладающие энергией, превосходящей среднее значение энергии соседних атомов, и способные преодолеть созданный последними потенциальный барьер, покинуть свои ме-

ста равновесия в узлах решетки, создавая в них пустоты (вакансии), и занимать новые места в междоузлиях решетки (дислоцированные атомы) или в вакансиях других кристаллических ячеек. Беспорядочное движение атомов вокруг вакансий приводит к появлению в свободных местах решетки какого-нибудь другого атома, что вызывает исчезновение данной вакансии и появление новой.

Сдвигообразование в кристалле, развивающееся под действием внешней силы, в основном представляет собой движение дислокаций по плоскостям скольжения и выход их на поверхность кристалла.

В связи с тем, что пластическая деформация представляет собой движение дислокаций по плоскостям скольжения с их выходом на поверхность кристалла, возникновение всевозможных препятствий, затрудняющих движение дислокаций, вызывает упрочнение поликристалла.

К числу подобных препятствий, прежде всего, относятся другие дислокации, имеющиеся в кристалле, так как преодоление сил отталкивания одноименных дислокаций и точек пересечения различных дислокаций требует затрат дополнительной энергии. В связи с этим увеличение общего числа дислокаций (т.е. повышение плотности дислокаций), происходящее в связи с их генерированием в процессе пластической деформации, сопровождается деформационным упрочнением.

Деформационное упрочнение (наклеп) металла, обрабатываемого резанием, обкаткой роликами и шариками, дробеструйным наклепом, чеканкой и другими механическими способами упрочняющей технологии, в значительной степени основано на увеличении плотности дислокаций.

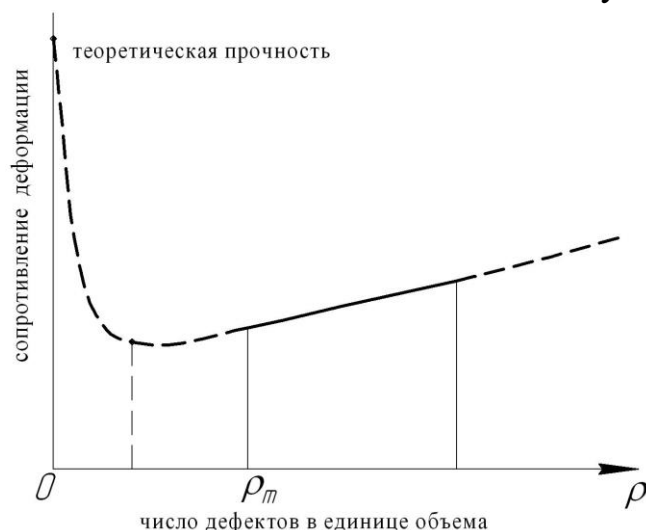


Рисунок 10.4. – Зависимость сопротивления деформации от плотности дислокации

Дефекты решетки оказывают на сопротивление кристалла деформации двоякое действие. Способствуя образованию дислокаций, они ослабляют кристалл. С другой стороны, они упрочняют его, так как препятствуют свободному перемещению дислокаций.

При этом некоторой плотности дислокаций ρ_m соответствует минимальное сопротивление материала деформации (рисунок 10.4).

Уменьшение ρ по сравнению с ρ_m приводит к повышению прочности, так как приближает структуру к идеальной. Увеличение числа дефектов по сравнению с ρ_m также вызывает повышение прочности вследствие увеличения сопротивления перемещению дислокаций. Все методы упрочнения, применяемые в настоящее время (наклеп, легирование, термообработка), соответствуют правой пологой ветви кривой.

Значительно более заманчивым является использование левой ветви этой кривой, отвечающей получению бездефектных кристаллов.

В этом направлении сделаны пока еще только первые шаги, т.е. получены тонкие нитевидные кристаллы (так называемые «усы») обладающие почти идеальной внутренней структурой. Толщина усов колеблется обычно от 0,05 до 2 мкм, длина от 2 до 10 мм. Замечательным свойством таких кристаллов является исключительно высокая прочность, близкая к теоретической величине. Так, у нитевидных кристаллов железа предел прочности оказывается равным 13360 МПа (1336 кгс/мм²), в то время как в обычном состоянии 300 МПа (30 кгс/мм²). У меди – 3000 МПа (302 кгс/мм²) против 260 МПа (26 кгс/мм²) в обычном состоянии.

Деформационное упрочнение металла в связи с его пластической деформацией в большой мере зависит от напряженного состояния металла в субмикроскопической (т.е. в объеме кристаллической решетки) и в микроскопической областях. Практически вся накопленная в результате пластической деформации металла энергия сохраняется в нем в виде искажений кристаллической решетки, имеющих масштабы атомных размеров – **напряжения третьего рода**.

Напряжения второго рода уравниваются в пределах отдельных зерен поликристалла, состоящих из отдельных блоков мозаики или состоящих из различно ориентированных кристаллов с правильным строением атомной решетки. В результате пластической деформации металла поверхностного слоя при механической обработке, фазовых превращений металла и вследствие тепловых воздействий в этом слое макроскопические остаточные напряжения (**остаточные напряжения первого рода**), уравнивающиеся в пределах областей, размеры которых одного порядка с размерами тела. Они вызваны неоднородностью силового, температурного или материального полей внутри тела.

Влияние механической обработки на состояние поверхностного слоя детали

При обработке заготовок резанием под действием прилагаемых сил в металле поверхностного слоя происходит пластическая деформация,

сопровождающаяся его деформационным упрочнением (наклепом). Интенсивность и глубина распространения наклепа возрастают с увеличением сил и продолжительности их воздействия и с повышением степени пластической деформации металла поверхностного слоя.

Одновременно с упрочнением под влиянием нагрева зоны резания в металле поверхностного слоя протекает разупрочнение, возвращающее металл в его первоначальное не наклепанное состояние. Конечное состояние металла поверхностного слоя определяется соотношением скоростей протекания процессов упрочнения и разупрочнения, зависящих от преобладания действия в зоне резания силового и теплового факторов.

Степень и глубина распространения наклепа изменяется в зависимости от вида и режима механической обработки и геометрии режущего инструмента.

Всякое изменение режима резания, вызывающее увеличение сил резания и степени пластической деформации, ведет к повышению степени наклепа. Рост продолжительности воздействия сил резания приводит к увеличению глубины распространения наклепа. Изменение режимов обработки, приводящее к возрастанию количества теплоты в зоне резания и продолжительности теплового воздействия инструмента на металл зоны резания, усиливает интенсивность разупрочнения, снимающего наклеп поверхностного слоя.

В процессе обработки точением наклеп поверхностного слоя повышается при увеличении подачи и глубины резания, с увеличением радиуса закругления режущего лезвия и при переходе от положительных передних углов резца к отрицательным.

Влияние скорости резания чаще всего проявляется через изменение теплового воздействия и продолжительности воздействия сил и нагрева на металл поверхностного слоя. Для металлов, не претерпевающих при резании структурных изменений, при повышении скорости резания следует ожидать снижение наклепа вследствие снижения продолжительности воздействия деформирующих сил на металл, что должно привести к уменьшению глубины наклепа, а также в результате интенсификации трения и выделения теплоты в зоне резания, ускоряющей протекание процесса разупрочнения.

Общие закономерности возникновения наклепа сохраняются и при абразивной обработке.

Влияние шероховатости поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин

Трение и изнашивание деталей в значительной степени связаны с высотой и формой неровностей поверхности, и направлением штрихов обработки.

В период приработки трущихся поверхностей их контакт происходит по вершинам неровностей. В результате этого фактическая поверхность соприкосновения составляет лишь небольшой процент от расчетной, поэтому в местах фактического контакта по вершинам неровностей возникают большие давления, часто превышающие предел текучести и даже предел прочности трущихся металлов.

Под действием этих давлений при неподвижных поверхностях в точках контакта происходит упругое сжатие и пластическое деформирование смятия неровностей, а при взаимном перемещении поверхностей – срез, отламывание и пластический сдвиг вершин неровностей, что приводит к интенсивному начальному износу трущихся деталей и увеличению зазоров трущейся пары.

Повышенному начальному износу (рисунок 10.5) при низких значениях высоты неровностей способствуют возникновение в точках контакта высоких значений температуры и срыв окисной пленки, покрывающей металлы, что сопровождается молекулярным сцеплением трущихся материалов и образованием узлов схватывания и отрывом частиц материала.

В период приработки шероховатость трущихся поверхностей может уменьшаться до некоторых оптимальных значений, которые различны для разных условий трения (см. рисунок 10.5), чем тяжелее условия работы, тем выше износ.

Задачей конструктора является назначение шероховатости трущихся поверхностей, соответствующей ее оптимальному значению, при котором износ и коэффициент трения при данных условиях являются минимальными.

Влияние направления неровностей на износостойкость детали различно в разных условиях трения и при разных размерах неровностей (рисунок 10.6). Наибольший износ наблюдается при перпендикулярном направлении неровностей и вектора скорости их скольжения (кривая 1),

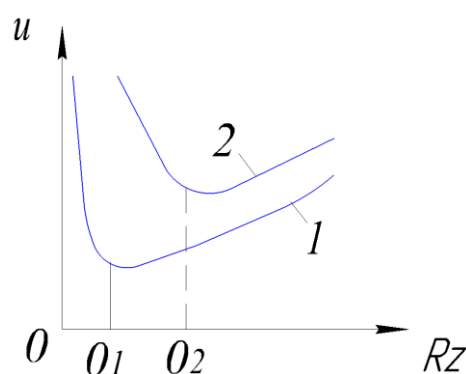


Рисунок 10.5. – Зависимость износа от шероховатости поверхности:

**1 – легкие условия работы;
2 – тяжелые условия работы**

а наименьший – при параллельности направлений неровностей и вектора скорости скольжения поверхностей (кривая 3). Жидкостное трение (кривые *Б*) способствует снижению износа по сравнению с граничным трением (кривые *А*) поверхностей тел.

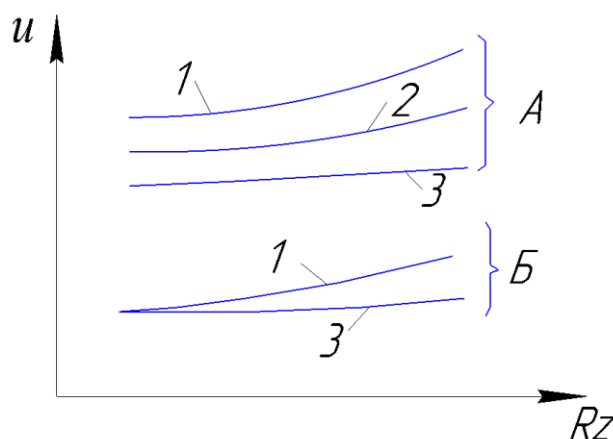


Рисунок 10.6. – Зависимость износа от шероховатости поверхности:
А – граничное трение; *Б* – жидкостное; 1 – направление неровностей у обоих трущихся тел перпендикулярно вектору скорости скольжения; 2 – направление неровностей одной детали перпендикулярно, а другой – параллельно вектору скорости скольжения; 3 – направление неровностей обеих поверхностей параллельно вектору скорости скольжения

Прочность соединений с натягом непосредственно связана с высотой микронеровностей. С увеличением шероховатости прочность прессовых соединений снижается.

Параметры шероховатости поверхностей оказывают влияние и на другие важные эксплуатационные свойства деталей: усталостную прочность, прочность при ударной нагрузке, контактную жесткость, коррозионную стойкость, отражательную способность и др.

Влияние состояния поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей машин

Повышению износостойкости деталей в большинстве случаев способствует предварительное упрочнение поверхностного слоя, которое уменьшает смятие и истирание поверхностей при наличии их непосредственного контакта, и взаимное внедрение поверхностных слоев, возникающее при их механическом и молекулярном взаимодействии. Упрочнение увеличивает диффузию кислорода воздуха в поверхностный слой, создавая в нем твердые химические соединения FeO , Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , характерные для окислительного изнашивания, протекающего с наименьшей интенсив-

ностью, а также препятствует развитию совместной пластической деформации трущихся деталей, вызывающей холодную сварку – **схватывание**, которая является наиболее интенсивным видом изнашивания.

Положительное влияние наклепа на износостойкость трущихся поверхностей проявляется только до определенной степени первоначального наклепа. Если при предварительной обработке трущейся поверхности степень пластической деформации поверхностного слоя превосходит определенное для данного металла значение, то начинается процесс его разрыхления (разрыв междоатомных связей по плоскостям скольжения и субмикроскопические нарушения сплошности металла), происходящий одновременно с продолжающимся процессом упрочнения. Это явление называется переклепом.

При дальнейшем увеличении нагружения переупрочненные и охрупченные зоны металла отслаиваются от его основной массы; начинаются шелушения и ускоренный износ детали.

Усталостная прочность деталей в значительной степени зависит от упрочнения (наклепа) поверхностного слоя. Упрочнение металла до определенных пределов уменьшает амплитуду циклической пластической деформации и предотвращает возникновение субмикроскопических нарушений сплошности (разрыхления), порождающих развитие усталостных трещин.

Кроме того, создание упрочненного наклепанного слоя препятствует росту существующих и возникновению новых усталостных трещин. Такой слой может значительно нейтрализовать вредное влияние наружных дефектов и шероховатости поверхности.

Наклеп и остаточные напряжения поверхностного слоя могут стать одной из причин коррозионного растрескивания стали при ее длительном статистическом нагружении в коррозионных средах.

Это можно объяснить следующим образом. Пластическая деформация и наклеп поверхностного слоя протекают в различно ориентированных зернах неодинакового состава с разной интенсивностью; ферритные зерна деформируются интенсивнее перлитных. Это вызывает неравномерное повышение энергии и различное изменение электродного потенциала. Более наклепанные ферритные зерна становятся анодами, а менее наклепанные перлитные зерна – катодами. По тем же причинам оказывается различным и искажение атомной решетки в разных кристаллических зернах.

Наиболее активными участками металла во взаимодействии с внешними средами являются зоны плоскостей сдвигов и места выходов дислокаций

на поверхность. В этих зонах убыстряется адсорбция и развиваются коррозионные и диффузионные процессы. В результате этого холоднодеформированная сталь может поглощать в 100 раз больше водорода, чем отожженная.

Остаточные напряжения поверхностного слоя, созданные в ходе выполнения технологического процесса, не влияют на износ деталей в парах трения.

В самом начале процесса трения остаточные напряжения снимаются под действием протекающих пластических деформаций, не успевая оказать какого-либо влияния на процесс изнашивания. Одновременно в поверхностном слое в результате трения возникают остаточные напряжения сжатия, которые зависят от условий трения и пластических свойств трущихся металлов и не зависят от величины и знака остаточных напряжений, созданных предшествующей обработкой и существовавших в поверхностном слое до начала трения.

10.2 Технологическая наследственность

Под **технологической наследственностью** понимается явление переноса свойств обрабатываемого объекта (заготовки) от предшествующих операций к последующим, которое в дальнейшем сказывается на эксплуатационных показателях деталей машин. При этом изменение эксплуатационных свойств определяется методами и режимами, применяемыми на отдельных операциях термической и механической обработки, видом и состоянием режущего инструмента, условиями охлаждения, размерами операционных припусков, последовательностью и содержанием операций технологического процесса в целом и др.

Для обеспечения надежности деталей необходимо придавать их обработанным поверхностям наивыгоднейшие геометрические характеристики и физико-механические свойства.

Проведенные исследования показывают, что одинаковые по точности и высоте шероховатости поверхности деталей машин могут иметь различные эксплуатационные свойства. Это объясняется тем, что шероховатость сама по себе не может характеризовать физическое состояние поверхностного слоя металла. У поверхностей с одинаковой шероховатостью могут быть различные степени наклепа, неодинаковые характер и величина остаточных напряжений, разные степень искажения кристаллического строения и степень нарушения цельности поверхности за счет микротрещин, задигов и т.д. Различными могут быть химический состав и структура поверхностного слоя металла. Если поверхность получена в результате

выполнения комплекса механических операций с выделением в зоне резания значительного количества теплоты, то отдельные химические составляющие могут выгорать, в результате чего снижаются эксплуатационные свойства металла.

Важной характеристикой эксплуатационных свойств обработанной поверхности является ее поверхностная энергия. Физический смысл этого понятия заключается в следующем. Внутренние частицы твердого тела окружены со всех сторон соседними частицами. Частицы, находящиеся на поверхности, окружены «соседями» только с одной стороны, поэтому они располагаются иначе, чем внутренние. В поверхностном слое сосредоточен больший запас потенциальной энергии, чем во внутренних слоях. Для перевода внутренних частиц на поверхность (т. е. для образования новой поверхности) требуется затратить определенную работу. Работа, необходимая для образования единицы новой поверхности, называется поверхностной энергией.

Чем выше микротвердость детали, тем больше ее поверхностная энергия. Но поскольку микротвердость поверхности на финишной операции зависит от условий выполнения не только данной операции, но и предыдущей, то можно считать, что на конечное значение поверхностной энергии в какой-то мере влияет и предыдущая операция. В этом смысле имеет место определенная пооперационная взаимосвязь.

Поверхности с равной шероховатостью, но обработанные с применением различных технологических методов, будут иметь неодинаковую величину поверхностных энергий, а следовательно, и разные эксплуатационные свойства. Такая точка зрения подтверждается рядом исследований. Так, например, при одинаковой точности и шероховатости трущихся поверхностей суперфинишированных валов и втулок износостойкость последних различна и зависит от способа их обработки (рисунок 10.7). При шероховатости $Ra\ 0,1$ мкм наименьший износ получается у шлифованных втулок. Для случая обработки поверхности до шероховатости $Ra\ 0,05$ мкм и $Ra\ 0,025$ мкм наименьший износ оказался у хонингованных втулок.

Для плоских поверхностей деталей из закаленной стали У8А, обработанных различными способами до шероховатости $Ra\ 0,1$ мкм, наименьший износ за 10 ч сухого трения при давлении 0,098 МПа зафиксирован при шлифовании керамическим абразивным кругом. Изнашивание же деталей, обработанных доводкой свободным абразивным зерном или шлифованных кругом с графитовым наполнителем, при прочих равных условиях было на 37% большим.

Основные эксплуатационные свойства поверхности, т.е. ее микро- и макрогеометрия, микротвердость, напряженное состояние, наклеп, поверхностная энергия, цельность поверхности, химический состав, структура тончайших наружных слоев металла и др., формируются на протяжении всего периода обработки поверхностей деталей. При этом отдельные свойства и характеристики переходят от операции к операции, т.е. как бы «унаследуются» от предыдущих операций. Следовательно, можно сказать, что при механической обработке поверхностей деталей имеет место технологическая наследственность.

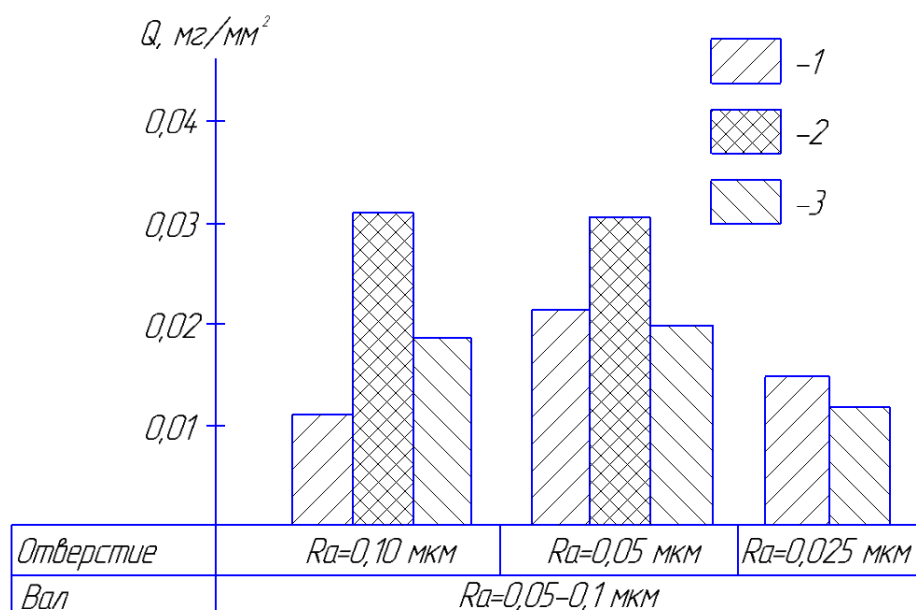


Рисунок 10.7. – Диаграмма износа закаленных втулок из стали 40Х, обработанных различными способами, за 10 ч трения с валом из чугуна СЧ21-40 ($v = 1 \text{ м/с}$; $p = 3,3 \text{ кг/см}^2$; смазка – веретенное масло):
1 – шлифование; 2 – доводка; 3 – хонингование

Определенный интерес представляет исследование влияния отдельных операций (от первой до последней) на конечное состояние поверхности детали.

В технологическом процессе влияние первых операций обычно слабее, чем финишных, но все же ими пренебрегать нельзя. Сила воздействия каждого технологического фактора на конечные эксплуатационные свойства обработанных поверхностей деталей неодинакова. Влияние одних распространяется вплоть до самой последней операции, влияние других угасает значительно раньше. Кроме того, имеются факторы, которые действуют только в пределах своей операции, не выходя даже на смежную с ней. Так, например, волнистость и гранность поверхности способны

«пройти вперед» лишь на одну-две операции, т.е. они могут частично копироваться на одной-двух смежных операциях, а затем влияние исходной величины этих погрешностей прекращается.

В технологической цепочке существуют как бы своего рода «барьеры». Некоторые факторы преодолеть эти «барьеры» не могут, и в таком случае их влияние на конечные свойства обработанных поверхностей отсутствует. Другие факторы такие «барьеры» проходят, но при этом значительно теряют свою исходную силу и влияют на конечные свойства очень слабо.

Самыми существенными «барьерами» служат термические операции (например, закалка, отпуск, отжиг, нормализация) и так называемые упрочняющие операции, сопровождающиеся поверхностным наклепом деталей (например, обкатка роликами и шариками, дорнирование отверстий, обработка стальной дробью, алмазное выглаживание, чеканка и др.). Сюда же можно отнести и процесс выхаживания при шлифовании, способствующий появлению абразивного наклепа обрабатываемой поверхности.

Многие отрицательные факторы технологической наследственности при осуществлении упрочняющих операций резко ослабляются или даже прекращают свое действие.

Тепловые явления при механической обработке обычно ухудшают физико-химическое состояние поверхностного слоя, тем самым понижая работоспособность деталей. В частности, в процессе шлифования могут образовываться шлифовочные прижоги вплоть до образования микротрещин. Структурные превращения в поверхностном слое могут иметь глубину «залегания», превышающую величину припуска на последующую операцию. Эти превращения обычно оказывают отрицательное влияние на формирование эксплуатационных характеристик поверхности при дальнейшей обработке. Поэтому, ослабляя тем или иным методом тепловое воздействие круга на деталь, можно снизить действие отрицательных факторов технологической наследственности. Следовательно, управляя тепловыми процессами, в результате применения нового вида инструмента, прогрессивных схем обработки, использования смазочно-охлаждающих жидкостей и т.д. можно в какой-то степени управлять и явлением технологической наследственности.

Проявление технологической наследственности имеет место не только на этапе изготовления детали, но и в процессе ее эксплуатации. Поэтому особое внимание должно быть уделено установлению непосредственных связей между эксплуатационными характеристиками деталей (износо-

стойкостью, усталостной прочностью, контактной жесткостью и т.д.) и методами и режимами их обработки.

При проектировании технологических процессов необходимо находить оптимальные сочетания методов обработки деталей, позволяющие получить требуемое эксплуатационное качество при минимальных затратах на их изготовление. Для этих целей предлагается использовать дисперсионный анализ и построение ранговых диаграмм, наглядно представляющие влияние методов предварительной и окончательной обработки на отдельные характеристики качества поверхности и эксплуатационные свойства.

Важное значение для технологического управления качеством поверхности и обеспечения требуемых эксплуатационных свойств имеет задача установления количественных зависимостей, отображающих в комплексе весь процесс обработки и учитывающих явление технологической наследственности. Подобные зависимости, полученные для широкого круга технологических методов обработки деталей, могут быть использованы при создании математической модели технологического процесса, в основу которой положены принципы оптимизации по заданным параметрам эксплуатационного качества рабочих поверхностей.

Изучение закономерностей проявления технологической наследственности в названных направлениях позволит в определенной степени управлять этим процессом и тем самым поможет наиболее рациональными методами достичь оптимальной долговечности деталей машин и повышения надежности их работы.

11 ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

11.1 Общие понятия

Технологичность конструкции изделия характеризуется его соответствием современному уровню техники, экономичностью и удобствами в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов его изготовления применительно к заданной программе выпуска и условиям производства. Конструкцию изделия, в котором эти возможности полностью учтены, называют **технологичной**.

Оценку технологичности изделия по сравнению с другим (лучшим образцом) производят, сопоставляя трудоемкость их изготовления, себестоимость и материалоемкость. Дополнительную оценку производят по степени унификации марок материала, унификации и нормализации элементов изделия, рациональности расчленения его на конструктивные и технологические элементы, достигнутому уровню взаимозаменяемости элементов изделия, конструктивной преемственности оригинальных деталей и составных частей изделия, коэффициентом среднего качества точности и шероховатости поверхностей деталей изделия, возможности автоматизации его изготовления. Выбор показателей технологичности проводят с учетом требований ГОСТ 14.201.

Технологичность конструкции изделия понятие относительное, оно меняется вместе с развитием производства и технологии для разных типов производства и даже для различных по характеру и уровню технологий предприятий, принадлежащих к одному типу производства, это понятие неодинаково. Так, например, на предприятиях единичного производства, применяющих станки с ЧПУ, требования к технологичности конструкции отличаются от требований, предъявляемым к таким же деталям, обрабатываемым на универсальных станках. С развитием технологии изготовления требования к технологичности конструкции меняются, поэтому само представление о технологичности также претерпевает изменения.

Технологичность конструкции изделия – понятие комплексное. Его нельзя рассматривать изолированно без взаимной связи и условий выполнения заготовительных процессов, процессов механической обработки, сборки и контроля. Отработанная на технологичность конструкция заготовки не должна усложнять последующую механическую обработку. В то же время отработку на технологичность конструкции заготовки следует производить с учетом возможного снижения трудоемкости и себестоимости изготовления изделия в целом.

Улучшением технологичности конструкции можно увеличить выпуск продукции при тех же средствах производства. Трудоемкость изготовления изделия нередко удается сократить на 15...20%, а себестоимость – на 5...10%.

11.2 Мероприятия по повышению технологичности конструкций

Конструкция изделия может быть признана технологичной, если она обеспечивает простое и экономичное изготовление этого изделия. Повышение технологичности конструкции изделия предусматривает проведение комплекса различных мероприятий, к числу которых относятся следующие:

1. Уменьшение общего количества звеньев в кинематической схеме изделия.

Уменьшение трудоемкости изготовления изделия при этом достигается не только за счет сокращения в нем числа деталей (что само по себе очевидно, так как трудоемкость обычно пропорциональна числу деталей) и упрощения сборки, но также благодаря снижению требований к точности деталей, входящих в расчетные размерные цепи изделия.

2. Создание конфигурации деталей и подбор для них материалов, позволяющих применение наиболее совершенных исходных заготовок, сокращающих объем механической обработки (точное и кокильное литье, литье под давлением, жидкая штамповка, объемная штамповка, холодная штамповка различных видов и т.д.).

3. Простановка размеров на чертежах с учетом требований их механической обработки и сборки, позволяющая обеспечивать точность методом автоматического получения размеров на настроенных станках, автоматах и полуавтоматах, и обеспечивать принципы единства технологических баз и совмещения конструкторских, измерительных и технологических баз.

4. Упрощение конфигурации отдельных деталей, предельно возможное расширение допусков на изготовление и снижение требований к шероховатости обрабатываемых поверхностей с целью уменьшения объема и облегчения механической обработки.

5. Создание конфигурации деталей, позволяющей применение наиболее совершенных и производительных методов механической обработки (многолезцовая обработка; обработка фасонным и комбинированным инструментом; накатывание и вихревое нарезание резьб; применение агрегатных и специальных станков и автоматов; поточных и автоматических линий).

Упрощение конфигурации деталей с целью унификации режущего инструмента и создания более благоприятных условий его работы, а также для облегчения и уменьшения объема механической обработки.

6. Проведение нормализации и унификации деталей и сборочных единиц выпускаемых изделий, являющихся предпосылками типизации технологических процессов, унификации режущих и измерительных инструментов, а также внедрения групповой обработки.

7. Создание конструкции изделия, позволяющей проведение операционной сборки по принципам полной или частичной взаимозаменяемости, что является одним из основных условий организации поточной сборки.

Наружные поверхности вращения

Ступенчатые поверхности должны иметь наименьший перепад диаметров. Не рекомендуется делать кольцевые канавки на торцах, особенно со стороны стержня, и выступы, не вписывающиеся в правильный геометрический контур поперечного сечения детали. Рекомендуется заменять переходные поверхности фасками. В местах сопряжения точных поверхностей необходимо предусматривать выход инструмента (рисунок 11.1).

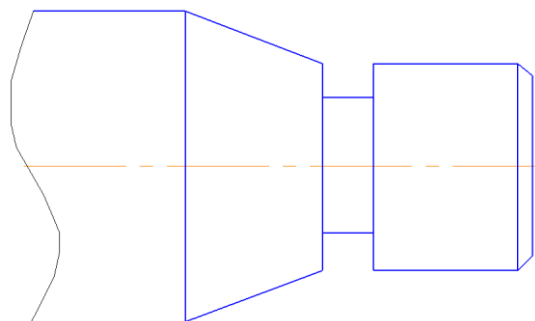


Рисунок 11.1. – Пример технологичности наружных поверхностей вращения

Отверстия

Желательно предусматривать сквозные отверстия, так как обрабатывать их легче, чем глухие (рисунок 11.2). Ось отверстия должна располагаться от вертикальной стенки на расстоянии

$$A \geq \frac{D}{2} + r,$$

и для отверстий под соединительные болты на расстоянии

$$A \geq \frac{D_r}{2} + r,$$

где D_r – диаметр описанной окружности головки болта.

Расстояние между отверстиями назначают с учетом возможности применения многошпиндельных сверлильных головок. Во избежание поломки сверл при сверлении поверхности на входе и выходе инструмента должны быть перпендикулярны оси отверстия (рисунок 11.3).

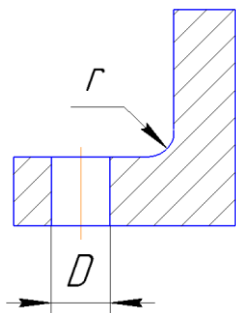


Рисунок 11.2. – Пример технологичности отверстий

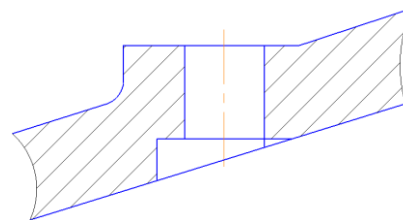


Рисунок 11.3. – Пример технологичности отверстий

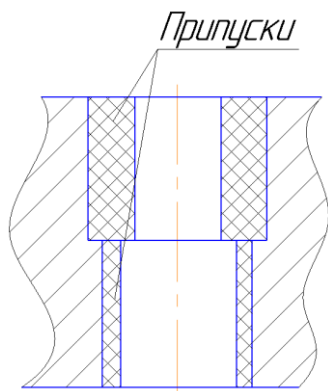
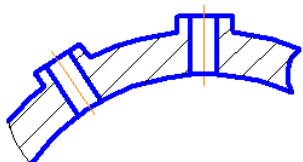


Рисунок 11.4. – Пример технологичности ступенчатых отверстий

Для одновременной обработки нескольких отверстий, расположенных на одной оси, рекомендуется последовательно уменьшать размеры отверстий на величину, превышающую припуск на обработку предшествующего отверстия (рисунок 11.4).

У дна точных глухих отверстий необходимо предусматривать канавку для выхода инструмента. Нужно избегать отверстий с непараллельными осями (рисунок 11.5).

а



б

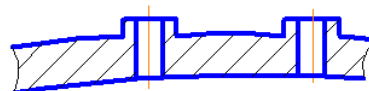
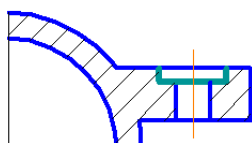


Рисунок 11.5. – Пример нетехнологичных (а) и технологичных (б) отверстий

Цекование торцов отверстий лучше заменять точением или фрезерованием (рисунок 11.6).

а



б

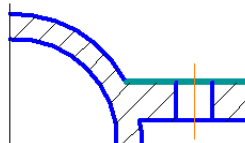


Рисунок 11.6. – Пример нетехнологичных (а) и технологичных (б) торцов отверстий

Рекомендуется избегать растачивания канавок в отверстиях на сверлильных и агрегатных станках; вместо выточек рекомендуют литые выемки глубиной $t \geq 1 \div 1,5$ мм (рисунок 11.7).

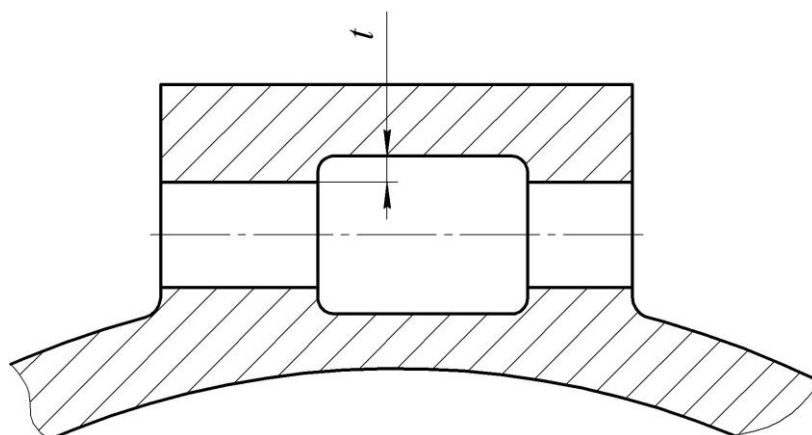


Рисунок 11.7. – Пример технологичных отверстий

Резьба

В резьбовом отверстии рекомендуется делать заходную фаску. При сквозных резьбовых отверстиях улучшаются условия работы режущего инструмента. При нарезании резьбы метчиком в глухом отверстии без канавки, а также при нарезании резьбы на концах валиков должен предусматриваться сбег резьбы. При резьбофрезеровании канавки для выхода фрезы необязательны. Резьба должна быть нормализована для всех производимых изделий. Следует избегать применение резьбы малого диаметра (до 6 мм) в крупных деталях из-за частой поломки метчиков.

Плоские поверхности

Ширину поверхностей необходимо увязывать с нормальным рядом диаметров торцовых или длин цилиндрических фрез. Предпочтительна обработка поверхностей напроход, при этом бобышки и платики следует располагать на одном уровне (рисунок 11.8).

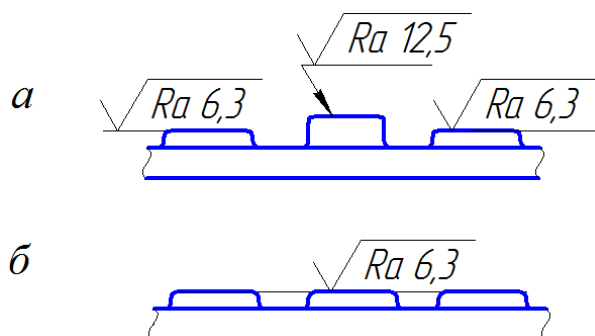


Рисунок 11.8. – Пример нетехнологичных (а) и технологичных (б) плоских поверхностей

Пазы и уступы

Пазы и уступы должны по возможности допускать обработку на проход (рисунок 11.9). Глубину и ширину пазов и уступов выбирают в соответствии с размерами нормальных пазовых фрез. Предпочтительны пазы и уступы, обрабатываемые дисковыми, а не концевыми фрезами. Радиусы закругления у гнезд и выемок должны быть одинаковыми по всему контуру обрабатываемой поверхности и соответствовать размерам нормальных пазовых фрез.



Рисунок 11.9. – Пример технологичных (а) и нетехнологичных (б) пазов и уступов

11.3 Требования к анализу технологичности конструкции детали

В процессе конструирования деталей может быть предложен ряд равнозначных решений с позиций соответствия их конструкций служебному назначению, но при этом их технологичность будет различной.

Целью анализа является выявление недостатков конструкции по сведениям, содержащимся в чертежах и технических требованиях, а также возможное улучшение технологичности рассматриваемой конструкции.

Перед проектированием технологического процесса первоначально проводится только качественный анализ, включающий технологический контроль чертежа и технологический анализ конструкции (ГОСТ 14.201; ГОСТ 14.202; ГОСТ 14.204).

При технологическом контроле чертежа необходимо установить достаточность и правильность сведений чертежа для экономичного изготовления детали при заданном объеме выпуска и в соответствии с ее служебным назначением (достаточность проекций, видов, разрезов и сечений; правильность простановки размеров с необходимыми допусками, шероховатости поверхностей, допускаемых отклонений от правильной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей). Анализируя правильность простановки размеров, необходимо учитывать размерные связи между конструкторскими и измерительными базами и требования по взаимному расположению исполнительных поверхностей детали, ее основных и вспомогательных конструкторских баз.

Основные задачи, решаемые при технологическом анализе конструкции детали, сводятся к возможному уменьшению трудоемкости, металлоемкости и себестоимости изготовления детали без ущерба для ее служебного назначения.

Анализ целесообразно проводить в следующей последовательности:

1. Оценить возможные методы получения заготовки, материал детали с позиции его обрабатываемости.

2. Оценить технологичность отдельных конструктивных элементов детали.

3. Установить возможность применения высокопроизводительных методов обработки всех конструктивных элементов с требуемой точностью геометрических и физических параметров качества, учитывая при этом требования чертежа по применению термической обработки или других методов упрочняющей технологии.

4. Выявить возможные комплекты технологических баз, использование которых в технологическом процессе позволяет при минимуме затрат обеспечить требуемую точность линейных размеров, формы и взаимного расположения, исполнительных поверхностей и поверхностей, являющихся основными и вспомогательными конструкторскими базами. При этом следует оценивать возможность соблюдения в технологическом процессе принципов совмещения баз и единства технологических баз. (Все рассуждения необходимо сопровождать схемами базирования).

5. Оценить возможность построения технологического процесса по принципам концентрации и дифференциации операций.

В завершении анализа должны быть высказаны соображения по возможному изменению конструкции детали с целью повышения ее технологичности.

12 ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

12.1 Основы технического нормирования

Техническое нормирование представляет собой установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов (ГОСТ 3.1109). При этом под производственными ресурсами понимаются энергия, сырье, материалы, инструмент, рабочее время и т.д.

Особенно важной задачей, решаемой при проектировании технологических процессов, является техническое нормирование рабочего времени, т.е. нормирование труда.

Методы нормирования труда

Определение меры труда и соответствующего вознаграждения является одной из основных задач нормирования. Нормирование труда осуществляется методами технического нормирования и опытно-статистического нормирования.

Техническое нормирование труда – это совокупность методов и приемов по выявлению резервов рабочего времени и улучшение организации труда на предприятии, установление правильной меры труда (т.е. определение нормы времени) и в конечном счете – повышение производительности труда и увеличение объема производства.

При техническом нормировании труда технологическая операция разлагается на элементы машинные, машинно-ручные и ручные, на переходы, ходы и приемы. При этом каждый элемент подвергается анализу как в отдельности, так и в сочетании со смежными элементами. Перед расчетом нормы времени проводится изучение и анализ структуры нормируемой операции с целью ее улучшения путем:

- 1) исключения из состава операции лишних приемов и движений, без которых работа может быть успешно выполнена;
- 2) сокращения пути движений рук, ног и корпуса рабочего; замены утомительных приемов работы более легкими;
- 3) освобождения рабочего от выполнения подсобных работ по подноске материалов, инструментов, заготовок и по заточке инструмента;
- 4) применения многоместных приспособлений;
- 5) установления рациональных режимов резания;
- 6) использования опыта передовиков по сокращению затрат вспомогательного времени.

Норма времени, определенная аналитическим методом, называется технически обоснованной нормой или просто технической нормой. Технически обоснованная норма – это время, необходимое для выполнения еди-

ницы работы, установленное расчетом исходя из рационального использования в данных условиях производства труда рабочего (живого труда) и орудий труда (овеществленного труда) с учетом передового производственного опыта.

Технические нормы служат основой для определения требуемого количества и загрузки оборудования, производственной мощности участков и цехов, расчета основных показателей по труду и заработной плате, а также являются основой оперативного (календарного) планирования.

Технически обоснованные нормы могут быть освоены всеми рабочими данной специальности и квалификации, овладевшими трудовыми приемами, технологией и режимами работы, положенными в основу расчета этих норм. С развитием техники, технологии и организации производства, с ростом энерговооруженности рабочего и повышением его культурного уровня нормы времени должны корректироваться в сторону их снижения с учетом растущей производительности труда.

Опытно-статистический метод нормирования, применяемый в условиях единичного и мелкосерийного производств, в отличие от технического нормирования, не предполагает аналитического расчета трудоемкости отдельных элементов выполняемой работы и их суммирования. Норма времени устанавливается на всю операцию в целом путем сравнения с нормами и фактической трудоемкостью выполнения аналогичной работы. Статистические данные о фактической трудоемкости аналогичных операций и личный опыт нормировщиков и мастеров являются основой этого метода нормирования. Эти нормы не имеют под собой технической и расчетной базы и, как правило, являются заниженными и не отвечают задачам поиска резервов производства и повышения производительности труда.

В отличие от опытно-статистических норм технические нормы:

- 1) предусматривают использование передового производственного опыта; они определяют производительность труда выше среднего достигнутого уровня и поэтому являются прогрессивными;
- 2) при аналитическом методе нормирования исключается появление неоправданно высокой или чрезмерно низкой оплаты труда;
- 3) введение объективных и технически обоснованных расчетных норм устраняет конфликты и споры о правильности норм, имеющие место при опытно-статистическом нормировании.

Для корректировки технически обоснованных норм и разработки нормативов осуществляют изучение затрат рабочего времени наблюдением. Различают два основных способа изучения рабочего времени наблюдением: **хронометраж** и **фотографию рабочего дня**.

С помощью **хронометража** изучают затраты времени на выполнение циклически повторяющихся ручных и машинно-ручных элементов операции для установления их нормальной продолжительности, а также для разработки на этой основе нормативов, используемых при расчете технических норм времени.

Фотографией рабочего дня называют наблюдения с последовательным измерением всех затрат рабочего времени в течение одной или нескольких смен. Основное назначение фотографии рабочего дня – определение потерь рабочего времени, установление времени на обслуживание рабочего места и перерывы.

12.2 Структура затрат рабочего времени

Затраты рабочего времени в течение рабочего времени подразделяются на **нормируемые** и **ненормируемые**.

К **нормируемым** относятся затраты, необходимые для выполнения заданной работы и потому подлежащие включению в состав нормы времени.

К **ненормируемым** затратам рабочего времени относятся затраты, которые не включаются в состав нормы, (потери вследствие выполнения рабочим случайной непроизводительной работы, такой, как хождение за мастером, наладчиком, документацией, инструментами, транспортными средствами, материалами и т.п.; перерывы в работе по организационным и техническим причинам, связанные с простоем в ожидании работы, крана, подсобного рабочего, с простоями из-за отсутствия электроэнергии и т.п.; потери по вине рабочего в связи с опозданиями и преждевременным уходом с рабочего места, посторонними разговорами и т.п.).

Нормируемые затраты рабочего времени делятся на **подготовительно-заключительное время, оперативное время, время обслуживания рабочего места и время перерывов на отдых и личные потребности рабочего**.

Норма подготовительно-заключительного времени $T_{п.з.}$ – это норма времени на подготовку рабочих и средств производства к выполнению технологической операции и приведение их в первоначальное состояние после обработки партии заготовок на данной операции. Норма подготовительно-заключительного времени включает в себя затраты времени на подготовку к заданной работе и выполнение действий, связанных с ее окончанием. Она предусматривает затраты времени на:

1) получение материалов, инструментов, приспособлений, технологической документации и наряда на работу;

- 2) ознакомление с работой, технологической документацией, чертежом, получение необходимого инструмента;
- 3) установку инструментов, приспособлений, наладку оборудования на соответствующий режим работы;
- 4) снятие приспособлений и инструмента;
- 5) сдачу готовой продукции, остатков материала, приспособлений, инструмента, технологической документации и наряда.

Подготовительно-заключительное время затрачивается один раз на всю партию обрабатываемых изделий, изготавливаемых без перерыва по данному рабочему наряду и не зависит от числа изделий в партии.

Норма оперативного времени $T_{оп}$ – это норма времени на выполнение технологической операции, состоящая из суммы норм основного времени T_o и вспомогательного времени T_v , т.е.

$$T_{оп} = T_o + T_v. \quad (12.1)$$

Затраты оперативного времени на выполнение технологической операции повторяются с каждой единицей изделия.

Норма основного времени T_o – это норма времени на достижение непосредственной цели данной технологической операции или перехода по качественному изменению предмета труда. Основное время T_o представляет собой время, в течение которого осуществляется изменение размеров и форма заготовки, внешнего вида и шероховатости поверхности, состояния поверхностного слоя или взаимного расположения отдельных частей сборной единицы и их крепления и т.п. Основное время может быть машинным, машинно-ручным и ручным.

При станочных работах основное время определяется отношением величины пути L , пройденного обрабатывающим инструментом, к его минутной подаче S_m .

$$T_o = T_m = \frac{L \cdot i}{S_m}, \quad (12.2)$$

где i – число рабочих ходов;

$$L = l + l_1 + l_2 + l_{доп},$$

где l – длина обрабатываемой поверхности;

l_1 – величина врезания инструмента;

l_2 – величина перебега (схода) инструмента;

$l_{доп}$ – дополнительная величина рабочего хода инструмента, связанная с его безударным врезанием или необходимостью снятия пробных стружек при обеспечении точности методом пробных ходов.

Из этой общей формулы могут быть получены частные формулы для различных способов резания в зависимости от их кинематики.

Норма вспомогательного времени T_v представляет собой норму времени на осуществление действий, создающих возможность выполнения основной работы, являющейся целью технологической операции или перехода, и повторяющихся с каждым изделием (установка и снятие изделия, перемещение стола или суппорта, подвод и отвод инструмента, пуск и выключение станка, промеры изделия, смена инструмента или его переустановка).

Вспомогательное время бывает ручным, механизированным (установка и снятие изделия краном и другими механизмами) и машинным (автоматический ускоренный обратный ход суппорта или стола). Вспомогательное время определяется суммированием его составляющих элементов, приведенных в таблицах нормативов по техническому нормированию (время на установку и снятие заготовки; время, связанное с переходом; время, связанное с управлением станком и время на контрольные измерения).

Время обслуживания рабочего места $T_{обс}$ представляет собой часть штучного времени, затрачиваемую исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ними и рабочим местом. В условиях массового производства, машинных и автоматизированных операций время обслуживания рабочего места подразделяется на время технического и время организационного обслуживания.

Время технического обслуживания $T_{тех}$ – это время, затрачиваемое на уход за рабочим местом (оборудованием) в течение данной конкретной работы (смена затупившихся инструментов, регулировка инструментов и подналадка оборудования, уборка стружки и т.п.). Время технического обслуживания определяется в процентах к основному времени.

Время организационного обслуживания $T_{орг}$ – это время, затрачиваемое на уход за рабочим местом в течение рабочей смены (время на раскладку и уборку инструмента в начале и конце смены, время на осмотр и опробование оборудования, время на его смазку и чистку и т.п.). Время организационного обслуживания определяется в процентах к оперативному времени.

Время на личные потребности $T_{отд}$ – это часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и на отдых. Оно предусматривается для всех видов работ (кроме непрерывных) и определяется в процентах к оперативному времени. Обычно это время не превосходит 2% от продолжительности рабочей смены. На работах физически тяжелых, особенно утомительных, отличающихся большим грузооборотом или производимых ускоренным темпом, предусматривается дополнительное время на перерывы для отдыха.

Структура нормы времени

Технически обоснованная норма времени состоит из нормы подготовительно-заключительного времени на партию обрабатываемых изделий и нормы штучного времени, т.е.

$$T_{\text{ш.-к.}} = T_{\text{шт}} + T_{\text{п.-з.}} / n, \quad (12.3)$$

где $T_{\text{ш.-к.}}$ – норма штучно-калькуляционного времени (норма времени);
 $T_{\text{шт}}$ – норма штучного времени;
 $T_{\text{п.-з.}}$ – норма подготовительно-заключительного времени на партию обрабатываемых заготовок;
 n – количество заготовок в обрабатываемой партии.

Норма штучного времени – это норма времени на выполнение объема работы, равной единице нормирования.

Штучное время может быть определено как интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий либо равный календарному времени сборочной операции.

При техническом нормировании норма штучного времени $T_{\text{шт.}}$ подсчитывается по формуле

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{отд}};$$

$$T_{\text{о}} + T_{\text{в}} = T_{\text{оп}};$$

$$T_{\text{обс}} = T_{\text{тех}} + T_{\text{орг}}.$$

В условиях массового производства нормируется $T_{\text{шт.}}$, а в условиях единичного и серийного производства – $T_{\text{ш.-к.}}$.

В связи с тем, что в единичном и серийном производствах время на обслуживание рабочего места не подразделяется на время организационного и технического обслуживания и, так же как и время на отдых и личные потребности рабочего, исчисляется в процентах от оперативного времени, формула для подсчета штучного времени упрощается и приобретает вид

$$T_{\text{шт}} = (T_{\text{о}} + T_{\text{в}}) \left(1 + \frac{K}{100} \right), \quad (12.4)$$

где K – процент оперативного времени на обслуживание рабочего места, на отдых и личные потребности рабочего.

Норма затрат рабочего времени может быть выражена количеством продукции, изготовленной в единицу времени. В этом случае она называется нормой выработки.

12.3 Методы расчета себестоимости вариантов технологических процессов

Сопоставление себестоимости вариантов технологических процессов во многих случаях производится путем сравнения себестоимости изготовления детали, отражающей затраты живого и овеществленного труда. Существуют два принципиально отличных метода определения себестоимости: бухгалтерский и элементный.

Бухгалтерский метод

Широко распространен метод определения себестоимости обработки партии деталей по формуле

$$C = A \cdot n + B, \quad (12.5)$$

где C – себестоимость партии заготовок;

A – текущие затраты, т.е. затраты, повторяющиеся при изготовлении каждой отдельной детали;

n – количество деталей в партии, шт.;

B – единовременные затраты, т.е. затраты, которые производятся один раз на все количество деталей или периодически на определенную их партию.

Себестоимость обработки одной детали в этом случае определяется по формуле

$$C_{\text{заг}} = A + B/n, \quad (12.6)$$

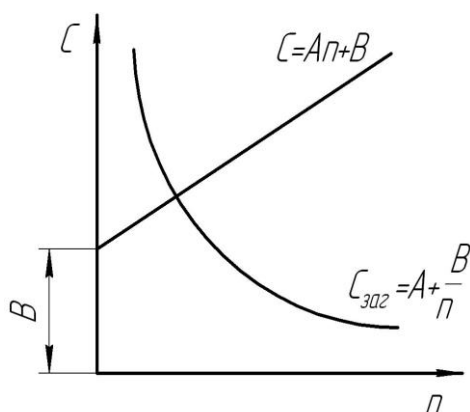


Рисунок 12.1. – Зависимость себестоимости обработки от количества деталей в партии

Результаты анализа формул (12.5) и (12.6) представлены в виде графиков на рисунке 12.1. Как видно из графиков, с увеличением количества деталей себестоимость их обработки снижается по гиперболической зависимости (даже при сохранении неизменного технологического процесса и связанных с ним единовременных и текущих затрат).

По мере увеличения партии деталей до некоторого значения n_1 , оно уже не может быть изготовлено при данном

варианте технологического процесса в установленный срок, поэтому потребуются введение дополнительной единицы оборудования с соответствующим увеличением единовременных расходов B . Это придает графикам зависимости себестоимости от количества изготавливаемых деталей ступенчатый характер (рис. 12.2).

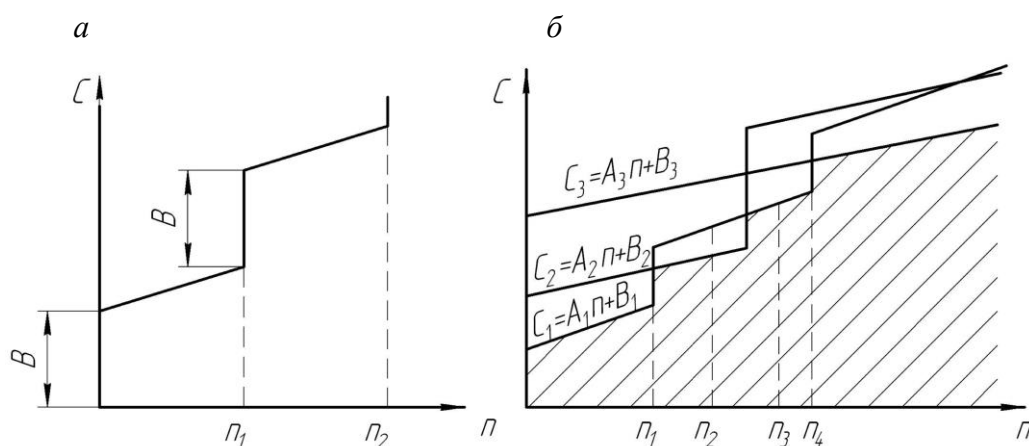


Рисунок 12.2. – Зависимость себестоимости обработки от количества деталей в партии при его увеличении до n_2 (а) и n_4 (б)

В состав единовременных затрат B , входящих в формулы (12.5) и (12.6), включаются затраты на приобретение специальных станков, приспособлений и инструментов, а также на наладку станков. Текущие затраты A включают в себя: стоимость исходной заготовки $C_{\text{заг}}$; затраты на заработную плату основных рабочих C_z и все цеховые расходы, связанные с амортизацией и ремонтом оборудования, содержанием зданий; затраты на электроэнергию; затраты на нормальный режущий, измерительный и вспомогательный инструмент и универсальные приспособления; затраты на заработную плату инженерно-технических работников, управленческого и обслуживающего персонала, а также на заработную плату вспомогательных рабочих цеха (инструментальная группа, ремонтники и т.п.). Цеховые расходы принято при калькулировании себестоимости определять в процентах от заработной платы основных рабочих цеха.

Таким образом, текущие затраты можно найти по формуле

$$A = C_{\text{заг}} + C_z \left(1 + \frac{P}{100} \right), \quad (12.7)$$

где P – сумма всех цеховых расходов, выраженная в процентах от заработной платы основных рабочих (процент накладных расходов).

Процент накладных расходов определяется при бухгалтерском методе по отчетным данным работы цеха и колеблется в зависимости от условий производства (серийность, оснащенность цеха, его размеры, степень автоматизации, организационная структура и т.п.) от 150 до 800%.

Изложенный метод расчета себестоимости обработки прост и нагляден. Однако принятый при этом способ выражения цеховых расходов в процентах от заработной платы основных рабочих (процент накладных расходов) не дает возможности учесть разницу в расходах по эксплуатации и амортизации оборудования и универсальной оснастки, различной по сложности и размерам. При расчете по этому методу более производительные технологические процессы оказываются более экономически эффективными даже в случаях применения очень сложных и дорогих универсальных оборудования и технологической оснастки.

Для сопоставления себестоимости технологических процессов (вариантов) бухгалтерский метод не пригоден.

Элементный метод

Наиболее точным методом расчета себестоимости вариантов технологических процессов при их сопоставлении является элементный метод или метод прямого расчета всех составляющих себестоимости.

В отдельных случаях при расчете можно не учитывать затраты, которые во всех сравниваемых вариантах остаются постоянными, и определять себестоимость только по затратам, зависящим от сравниваемых технологических процессов. Такая неполная себестоимость, включающая в себя только затраты, обусловленные вариантом технологического процесса, называется технологической себестоимостью C_T .

В общем случае полная технологическая себестоимость соответствует цеховой себестоимости и складывается из следующих элементов:

$$C_T = C_z + C_{з.н} + C_э + C_в + C_{реж} + C_m + C_a + C_p + C_{п} + C_{пл} + C_o + C_{исх.заг.}, \quad (12.8)$$

где C_z – заработная плата основных рабочих с начислениями;

$C_{з.н}$ – заработная плата наладчиков с начислениями;

$C_э$ – затраты на силовую электроэнергию;

$C_в$ – затраты на вспомогательные материалы (смазочно-обтирочные материалы и смазочно-охлаждающие жидкости);

$C_{реж}$ – затраты на амортизацию, заточку и ремонт универсального и специального режущего инструмента;

C_m – затраты на амортизацию и ремонт универсального и специального измерительного инструмента;

C_a – затраты на амортизацию оборудования;

C_{Π} – затраты на амортизацию и ремонт универсальных и специальных приспособлений;

$C_{\Pi\Gamma}$ – затраты на амортизацию, ремонт, отопление, освещение и уборку производственного помещения;

C_o – затраты на общие цеховые расходы (заработная плата вспомогательных рабочих, инженерно-технических работников и служащих цеха с соответствующими начислениями; расходы по ремонту и амортизации общего вспомогательного оборудования и инвентаря цеха; расходы по охране труда и др.);

$C_{\text{исх.заг.}}$ – стоимость исходной заготовки (включая стоимость ее изготовления и материала за вычетом стоимости реализуемых отходов стружки).

Элементный метод расчета себестоимости является основным методом сопоставления технологических процессов во всех ответственных случаях, особенно в условиях массового и крупносерийного производства. В менее ответственных случаях, а также при расчетах технологической себестоимости для серийного и мелкосерийного производств этот метод применяется с учетом укрупненных нормативов затрат.

Расчет технологической себестоимости в этом случае производится также по формуле (12.8), однако отдельные слагаемые себестоимости находят не прямым расчетом по точным формулам, а по соответствующим нормативным таблицам затрат, отнесенным к часу или минуте работы станка.

Оценка экономической эффективности по приведенным затратам

Оценка экономической эффективности вариантов по технологической себестоимости и производительности обработки в большинстве случаев бывает достаточно объективной, особенно когда затраты на технологическую оснастку и специальное оборудование этих вариантов различаются незначительно.

Когда один из вариантов предусматривает приобретение дорогостоящего специального оборудования или специализированной оснастки, сравнение вариантов только по технологической себестоимости и трудоемкости обработки может оказаться недостаточным. Целесообразность дополнительных затрат на оснащение технологического процесса можно

определить с помощью коэффициента экономической эффективности капитальных вложений

$$E = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1), \quad (12.9)$$

где C_1 и C_2 – себестоимость годового выпуска заготовок по первому и второму вариантам;

$K_2 - K_1$ – капитальные затраты, связанные с осуществлением первого и второго вариантов технологического процесса.

Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений E выражает годовую экономию на себестоимость заготовок, связанную с применением нового оборудования и оснастки, на один рубль капитальных вложений.

Для определения экономической целесообразности введения новой техники в различных отраслях промышленности установлен нормативный коэффициент экономической эффективности E , который определяет минимальную величину годовой экономии на себестоимости продукции на один рубль дополнительных капитальных затрат (для машиностроения $E = 0,2$ руб. в год на один рубль капитальных вложений).

Экономическая целесообразность дополнительных капитальных вложений может быть определена путем сравнения расчетного E и нормативного E_n коэффициентов экономической эффективности согласно неравенству

$$E = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1) \geq E_n. \quad (12.10)$$

При сравнении экономичности различных вариантов вновь проектируемых технологических процессов, требующих значительных капитальных вложений, целесообразно подсчитать так называемые приведенные затраты

$$Z_{\text{пр}} = C_{\text{заг}} q + E_n K, \quad (12.11)$$

где $Z_{\text{пр}}$ – приведенные затраты на осуществление годового выпуска деталей;

$C_{\text{заг}}$ – себестоимость изготовления одной детали;

q – годовой выпуск деталей;

K – капитальные вложения на осуществление данного варианта технологического процесса.

Из формулы (12.11) следует, что приведенные затраты складываются из себестоимости годового выпуска ($C = C_{\text{заг}} q$) и нормативной годовой экономии, которая должна быть получена в данной отрасли промышленности при рациональном использовании капитальных вложений ($E_n K$).

Лучшим признается вариант с минимальными приведенными затратами.

13 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА И СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Повышение технико-экономической эффективности технологических процессов неразрывно связано с увеличением производительности труда. Мероприятия по увеличению производительности труда неизбежно приводят к перераспределению доли **живого (ЖТ)** и **овеществленного (ОТ)** труда в структуре себестоимости единицы продукции в сторону увеличения доли овеществленного труда.

Различают **технологические и организационно-технические** методы повышения производительности труда. Основными из них являются технологические, а организационно-технические методы как бы дополняют технологические и применяются лишь тогда, когда возможности последних недостаточны или уже исчерпаны.

Общий принцип повышения производительности труда заключается в том, что применяя более совершенное оборудование, т.е. увеличивая затраты овеществленного труда, получают большую, чем это увеличение, экономию живого труда, измеряемого технической нормой времени на выполнение операции и квалификацией труда (рисунок 13.1).

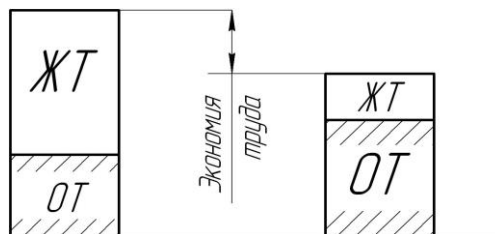


Рисунок 13.1. – Схема, поясняющая общий принцип повышения производительности труда

Из этого принципа следует, что всякое уменьшение нормы времени означает повышение производительности труда.

13.1 Снижение себестоимости изделий путем регулирования их количества

Наиболее существенное влияние на снижение себестоимости изделий оказывает количество изделий данной модели, подлежащих изготовлению: а) в единицу времени (смену, месяц, год); б) в течение возможно более длительного времени по неизменным чертежам.

Количество изделий, подлежащих изготовлению в единицу времени, определяется потребностями народного хозяйства. Длительность выпуска изделий или, другими словами, общее количество изделий, изготовленных по неизменным чертежам, зависит от морального износа изделий.

Под моральным износом понимается потеря изделием возможности экономичного выполнения своего служебного назначения по сравнению

с новым, более совершенным изделием, обладающим более высокими технико-экономическими показателями.

Чем лучше в конструкции изделия отражены современные достижения, тенденции и перспективы развития науки и техники, тем выше его технико-экономические показатели, тем, при прочих равных условиях меньше будет его моральный износ, тем дольше во времени, а следовательно, и в большем количестве, такое изделие будет выпускаться без изменений.

С увеличением количества выпускаемых изделий меняется структура себестоимости изделия вследствие уменьшения доли затрат живого труда и увеличения доли затрат овеществленного труда при одновременном снижении их суммы. Объясняется это тем, что с увеличением количества изделий, подлежащих изготовлению, возрастает возможность использования более дорогого, но и более производительного оборудования, инструмента и другой технологической оснастки, способствующих сокращению трудоемкости изготовления изделия.

13.2 Сокращение расходов на материалы

Расходы на материалы, затрачиваемые на изготовление единицы продукции, подсчитываются по формуле

$$M = \sum_{i=1}^p G_{1_i} q_{1_i} - \sum_{i=1}^p G_{2_i} q_{2_i} , \quad (13.1)$$

где G_{1_i} – масса материала каждой марки, расходуемого на изготовление единицы продукции;

q_{1_i} – стоимость 1 кг материала соответствующей марки;

G_{2_i} – масса реализуемых отходов каждой марки;

q_{2_i} – стоимость 1 кг отходов;

p – количество марок материалов, расходуемых на изготовление единицы продукции.

Из данной формулы следует, что к основным условиям сокращения расходов на материалы относятся:

- 1) сокращение массы материалов, расходуемых на изготовление одного изделия;
- 2) использование, по возможности, более дешевых материалов;
- 3) получение отходов материалов в виде пригодном для последующего использования их при изготовлении других изделий, т.е. увеличение q_{2_i} .

Для суждения о рациональности использования материалов служит коэффициент использования материала η_m , представляющий собой отношение массы материала готового изделия g_2 к массе материала g_1 , затрачиваемого на его изготовление:

$$\eta_m = \frac{g_2}{g_1}. \quad (13.2)$$

13.3 Технологические основы увеличения производительности труда

Доля подготовительно-заключительного времени, приходящаяся на изготовление одной детали, уменьшается с увеличением количества деталей в партии, что может быть достигнуто двумя путями:

- 1) увеличением одинаковых деталей в партии;
- 2) увеличением количества деталей за счет изготовления различных деталей, близких по служебному назначению, конструкции, размерам, материалу, техническим условиям и т.д.

Штучное время может быть сокращено главным образом за счет основного и вспомогательного времени, составляющих наибольшую долю среди других слагаемых.

Пути сокращения основного времени

Анализ формулы

$$T_0 = T_m = \frac{(l + l_1 + l_2)i}{nS} \quad (13.3)$$

показывает, что сокращение основного технологического времени, если оно является машинным, может производиться: 1) сокращением относительного перемещения режущего инструмента и обрабатываемой поверхности по направлению подачи $(l + l_1 + l_2)$; 2) сокращением числа ходов i ; 3) обработкой каждой детали с оптимальными режимами; 4) совмещением переходов во времени.

Сокращение пути относительного движения режущего инструмента и обрабатываемой поверхности детали может осуществляться за счет уменьшения размеров врезания l_1 и выхода l_2 режущего инструмента.

Например, при обработке поверхности торцевой фрезой (рисунок 13.2), увеличение диаметра фрезы при неизменной глубине резания уменьшает размер врезания l_1 режущего инструмента.

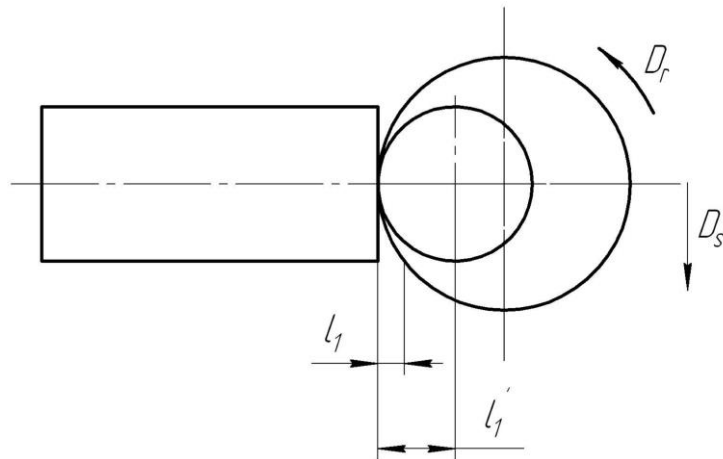


Рисунок 13.2. – Схема фрезерования поверхности торцевой фрезой с различными диаметрами и изменением размера врезания

Обработка нескольких последовательно установленных деталей также способствует сокращению пути врезания и выхода инструмента, приходящегося на одну деталь, особенно если они установлены вплотную одна к другой.

Наибольшее значение сокращения пути врезания и выхода режущего инструмента имеет при обработке коротких поверхностей.

Наибольший эффект получается при сокращении длины пути рабочего хода инструмента за счет обработки каждой из поверхностей одновременно несколькими инструментами. Наиболее часто этот способ находит применение на многорезцовых токарных и револьверных станках и автоматах (рисунок 13.3).

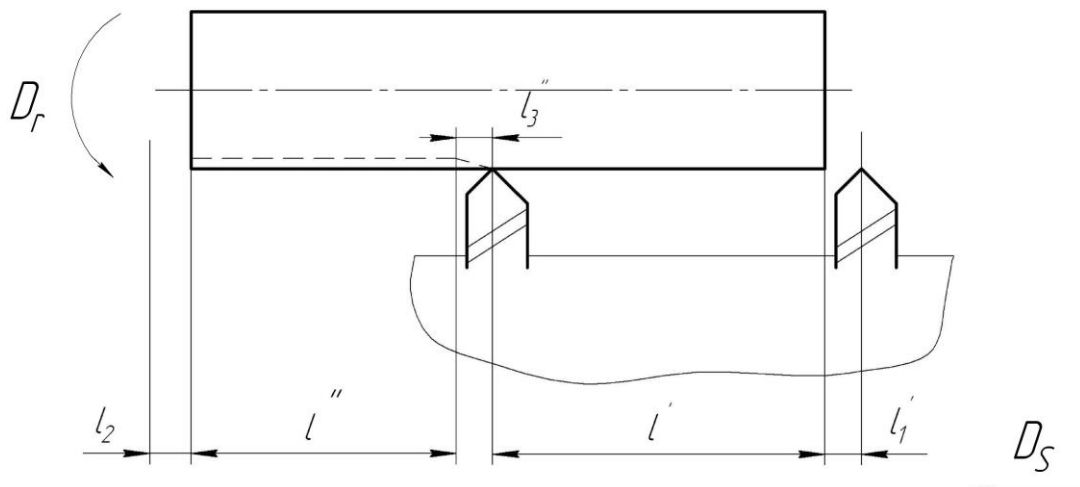


Рисунок 13.3. – Схема обработки цилиндрической поверхности детали двумя резцами

Один из недостатков этого метода состоит в том, что в месте стыка участков остается ступень из-за различной погрешности динамической настройки.

Сокращение числа проходов позволяет уменьшить машинное время. Достичь сокращения числа проходов можно уменьшением припусков на обработку путем приближения заготовки к размерам и форме готовой детали. Другим средством уменьшения числа ходов является обработка поверхностей деталей на технологическом оборудовании, позволяющем автоматически управлять упругими перемещениями.

Управление упругими перемещениями позволяет получить меньшую величину поля рассеяния, порождаемого совокупным действием отклонений припуска на обработку и твердости материала заготовки. Следовательно, для достижения требуемой точности изготавливаемой детали потребуется меньшее число проходов. Увеличение точности обработки на одной из операций позволяет, как правило, сократить количество проходов или увеличить режимы обработки на последующих операциях и, следовательно, выполнить их более производительно.

Увеличение режимов обработки является одним из основных средств сокращения машинного времени. Выбор режимов резания тесно связан с требуемой точностью обрабатываемой поверхностью детали. Упругие перемещения технологической системы, порождающие в значительной мере погрешности обработки и особенно недостаточная жесткость обрабатываемых заготовок лимитируют допускаемую при обработке силу резания, а тем самым и величину подачи при всех прочих равных условиях. Величина скорости резания лимитируется размерной стойкостью режущего инструмента и количеством образующейся теплоты, порождающего температурные деформации технологической системы.

Большой резерв в сокращении времени заложен в применении высокоскоростной обработки с частотой вращения режущего инструмента до $40\,000\text{ мин}^{-1}$. В этом случае до 95% образующейся при резании теплоты переходит в стружку и удаляется из зоны резания, уменьшается толщина срезаемого лезвием слоя материала, что позволяет увеличить минутную подачу инструмента и производительность обработки.

Таким образом, установление режимов обработки должно основываться исходя из экономичного достижения требуемой точности детали (размеров и качества поверхностей).

Совмещением переходов можно в значительной мере сократить как основное, так и вспомогательное время.

В общем случае у детали необходимо обработать несколько одинаковых или различных поверхностей, расположенных на одной или нескольких сторонах детали. Обработку поверхностей можно выполнять **последовательно, одновременно и комбинированно**.

При последовательной обработке поверхностей детали сократить основное время можно только путем сокращения его слагаемых. При одновременной обработке всех поверхностей детали основное время будет равно времени, затрачиваемому на выполнение наиболее продолжительного перехода.

Совмещение переходов, связанных со сменой обрабатываемой детали, с основным технологическим временем может осуществляться различным («маятниковая» обработка, использование поворотных столов, карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки и т.п.)

Совмещение переходов, связанных с измерением обрабатываемых деталей, осуществляется обычно или с помощью приспособлений или измерительных устройств, позволяющих осуществлять измерения во время обработки или путем использования средств активного контроля.

Пути сокращения вспомогательного времени

Удельный вес вспомогательного времени в штучном и его абсолютная величина при обработке заготовок на некоторых видах оборудования достигает значительных величин, довольно часто превосходящих в несколько раз основное технологическое время. Увеличение режимов обработки, особенно скорости резания, при использовании основных видов режущего инструмента, оснащенного пластинами твердого сплава, керамики, эльбора и т.п., а также внедрение нового, более быстроходного и мощного оборудования, способствует дальнейшему возрастанию доли вспомогательного времени. Это может стать помехой на пути дальнейшего внедрения высокопроизводительного оборудования и повышения производительности труда. Действительно, при незначительной доле в штучном времени машинного дальнейшего уменьшения последнего уже не дает ощутимого эффекта. Отсюда следует, что сокращение вспомогательного времени является во многих случаях одним из решающих факторов дальнейшего увеличения производительности труда. Сокращение вспомогательного времени осуществляется двумя путями: непосредственным сокращением времени, затрачиваемого при выполнении технологического процесса на вспомогательные приемы, и частичным или полным совмещением затрат времени вспомогательных приемов с основным технологическим временем. Наибольший эффект дает одновременное использование этих путей.

Непосредственное сокращение вспомогательного времени осуществляется:

1) уменьшением времени, расходуемого на замену одних обрабатываемых заготовок другими, использованием приспособлений, обеспечивающих требуемую схему базирования при контакте заготовок с установочными элементами, сокращением времени закрепления при смене заготовок, автоматизации смены обрабатываемых заготовок и др.;

2) уменьшением времени, затрачиваемого на управление оборудованием и приспособлениями, путем упрощения управления, его механизации и автоматизации;

3) уменьшением времени, затрачиваемого на контроль за ходом выполнения технологического процесса, путем правильного выбора методов и средств измерения, механизацией и автоматизацией контроля;

4) комплексной автоматизацией технологического процесса.

Совместная обработка заготовок

При увеличении количества заготовок прибегают к их совместной обработке с целью увеличения производительности оборудования и труда.

При совместной обработке заготовки могут устанавливаться и обрабатываться последовательно, параллельно и комбинированно (рисунок 13.4)

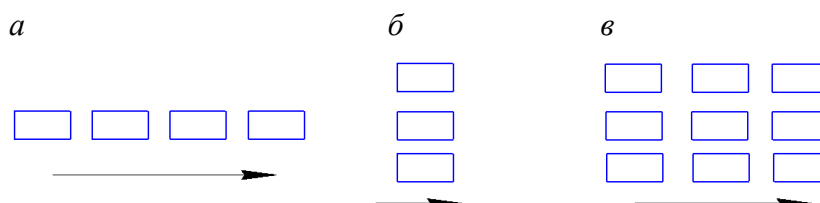


Рисунок 13.4. – Схема обработки заготовок при последовательной (а), параллельной (б) и комбинированной (в) установке

При всех прочих равных условиях обработка заготовок, установленных параллельно, дает наибольший эффект с точки зрения сокращения основного технологического времени.

Для увеличения производительности труда при обработке заготовок в небольших количествах используется одновременная обработка различных заготовок, обработка заготовок с «перекладкой» или совместно та и другая.

Использование совмещения переходов и совместной обработки заготовок

При увеличении количества заготовок, подлежащих обработке, становится экономичным одновременное использование совмещения переходов

и совместной обработки заготовок. Как правило, для этого создается высокопроизводительное оборудование в виде многошпиндельных полуавтоматов и автоматов, агрегатных многошпиндельных и многопозиционных станков, автоматических линий, роторных и роторно-конвейерных линий.

13.4 Автоматизация производственных процессов

Одним из основных направлений автоматизации серийного производства является расширение использования станков с ЧПУ, экономическая эффективность которых проявляется уже при обработке сравнительно небольших партий (20...40 шт.) заготовок. Однако в условиях единичного производства в большинстве случаев сохраняются экономические преимущества универсального оборудования с ручным управлением.

Применение станков с ЧПУ, отличающихся от обычных наличием автоматического цикла вспомогательных движений и возможностью декодирования числового и буквенного кодов в рабочие и вспомогательные движения, явилось первой стадией автоматизации. Достижения в технологии микроэлектроники позволили осуществить компьютеризацию программного управления (системы CNC) и оказали большое влияние на надежность, уменьшение габаритов и стоимость систем ЧПУ.

В некоторых станках с оперативной системой управления (ОСУ) предусмотрена возможность устранения трудоемкой предварительной настройки инструментов на размер, которая заменяется введением в систему необходимой коррекции, учитывающей смещение положения инструмента относительно требуемого и соответствующее позиционирование инструмента. Крупным преимуществом станков с оперативным управлением является возможность редактирования (устранения ошибок и внесения исправлений) программ непосредственно на рабочем месте.

Применение станков с оперативным управлением может быть экономически эффективным при обработке единичных заготовок и всегда эффективно при обработке партий в три-четыре штуки и более.

На второй стадии автоматизируются периферийные функции станков с ЧПУ: смены инструмента и заготовок, измерения и, наконец, удаления производственных отходов. Выпуск и внедрение в производство таких станков значительно изменили теорию и практику использования станков с ЧПУ в качестве средств производства. Если ранее они применялись для автоматизации и улучшения условий труда на отдельных операциях, то те-

перь служат базой **третьей ступени автоматизации** – создания гибких производственных систем (ГПС).

В соответствии с ГОСТ 26228 гибкая производственная система – это совокупность или отдельная единица технологического оборудования и системы обеспечения его функционирования в автоматическом режиме, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

По организационной структуре гибкие производственные системы формируются в виде гибких производственных модулей (ГПМ), гибких автоматических линий (ГАЛ) и участков (ГАУ), а также в виде гибких автоматизированных цехов (ГАЦ), производств (ГАП) и заводов (ГАЗ).

При организации ГПС в настоящее время используются горизонтальные и вертикальные токарные центры, обрабатывающие центры, где помимо токарных операций выполняются сверлильные, фрезерные и другие операции, и многофункциональные станки, обеспечивающие на одном рабочем месте разнообразные виды обработки – лезвийную, электрохимическую и другие. В ГПМ встраиваются робототехнические комплексы (РТК), позволяющие автоматизировать не только загрузочные и разгрузочные операции, но и осуществлять функцию обработки поверхностей детали, например, фрезерными роботизированными модулями.

13.5 Типовые и групповые технологические процессы

Трудности проектирования технологического процесса обусловлены прежде всего большим числом возможных решений каждой технологической задачи. Для одной и той же детали при одинаковой производственной программе может быть разработано несколько вариантов технологических процессов. В зависимости от опыта технического персонала и местных производственных условий эти варианты часто отличаются друг от друга маршрутом и содержанием операций, являясь иногда равноценными по технико-экономической эффективности.

При сравнительно малом времени, отводимом на разработку процесса, возможность подкрепления принимаемых решений объективными технико-экономическими расчетами ограничена. Разрабатывая процесс, технолог вынужден в значительной мере руководствоваться своим опытом, а среди разработанных на одну и ту же деталь процессов разными технологиями наиболее целесообразного может и не оказаться.

На разработку однотипных технологических процессов в отдельности затрачивается много времени и средств, так как работа технологов многократно повторяется.

Идея типизации технологических процессов была выдвинута в конце 30-х годов профессором А.П. Соколовским, давшим следующее общее определение термина «типизация»: «Типизацией технологических процессов называем такое направление в деле изучения и построения технологии, которое заключается в классификации технологических процессов изготовления деталей машин и их элементов и затем в комплексном решении всех задач, возникающих при осуществлении процессов каждой классификационной группы».

В основе этой идеи лежит общее соображение о том, что затраты на проектирование процесса могут быть тем большими, чем большее количество деталей изготавливают по этому процессу.

Первым этапом типизации является классификация заготовок деталей машин.

Признаками для классификации заготовок являются:

- конфигурация заготовки;
- ее размеры;
- точность обработки и качество обрабатываемых поверхностей;
- материал заготовки.

В основу построения технологической классификации заготовок профессор А.П. Соколовский принимает классы, которые, в свою очередь, подразделяются на подклассы, группы и подгруппы.

Классом заготовки называется совокупность заготовок, характеризуемых общностью технологических задач, решаемых в условиях определенной конфигурации этих заготовок. По классификации А.П. Соколовского, предусмотрено 14 классов (валы, втулки, диски, эксцентриковые заготовки, крестовины, рычаги, плиты, угольники, бабки, зубчатые колеса, фасонные кулачки, ходовые винты и червяки, мелкие крепежные детали).

При этом указывается, что к этой классификации, имеющей общий машиностроительный характер, целесообразно добавлять новые классы заготовок, характерные для отдельных отраслей промышленности.

Разбивка классов на подклассы, группы и подгруппы заканчивается типом.

Под **типом** подразумевается совокупность заготовок одного класса, имеющих в определенных производственных условиях одинаковый маршрут типовых операций. При этом типовая технологическая операция ха-

рактизуется единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

Таким образом, под **типом** понимается совокупность заготовок, имеющих план операций, осуществляемый в основном одинаковыми способами (однородное оборудование, одинаковое качество установов, приспособлений и инструментов).

Практически к одному типу относятся заготовки, для которых можно составить общую карту типового процесса. В пределах типа допускаются некоторые отклонения в порядке обработки. Возможно исключение или добавление некоторых (нехарактерных) переходов и даже операций, например, сверления неточных отверстий.

Вне зависимости от конкретной системы классификации на первом этапе выявляется группа деталей, обладающих минимумом отличительных признаков.

Типовая деталь объединяет совокупность деталей, имеющих одинаковый план (маршрут) операций, осуществляемых на однородном оборудовании с применением одностипных приспособлений и инструментов.

Разработка классификаций деталей сочетается с унификацией и нормализацией их конструкций. Это позволяет применять при их изготовлении более прогрессивную технологию, а также сократить номенклатуру оборудования и оснастки.

Следующим этапом типизации является разработка принципиально общего технологического процесса с установлением типовых схем базирования и типовых конструкций оснастки. Если детали достаточно полно унифицированы, то на них составляют одну технологическую карту с нормами времени.

Разработка типовых технологических процессов – задача отраслевых НИИ и крупных заводов.

Технологу, пользующемуся типовым технологическим процессом при разработке процесса на заданную деталь, остается лишь в той мере изменить его, в какой это требуют особенности детали и конкретные условия, отличающиеся от предусмотренных в типовом процессе.

Технологически процесс на заданную деталь будет разработан быстро, но окажется на столь же высоком уровне, как и всесторонне обоснованный типовой процесс.

Групповые технологические процессы

В серийном производстве на каждом рабочем месте выполняют несколько операций. Переход от одной к другой операции вызывает простои

оборудования при его переналадке. Однако, при соответствующем построении технологических процессов и проведении соответствующих организационных мероприятий в серийном производстве осуществимы **принципы точно-массового** производства. Это достигается применением групповых технологических процессов, выполняемых на групповых поточных линиях. Научные основы организации группового производства обоснованы в работах профессора С.П. Митрофанова.

Групповой технологический процесс представляет собой единый технологический процесс, разработанный на некоторую группу специально подобранных деталей.

Для создания такого процесса, как и при разработке типового технологического процесса, группу деталей заменяют одной комплексной деталью, содержащей все поверхности каждой из деталей, входящих в группу (рисунок 13.5). Комплексная деталь может быть реальной деталью группы или воображаемой. Процесс, разработанный на комплексную деталь, пригоден для любой детали группы, но только при его выполнении исключаются те операции или переходы, которые не требуются для каждой конкретной группы деталей.

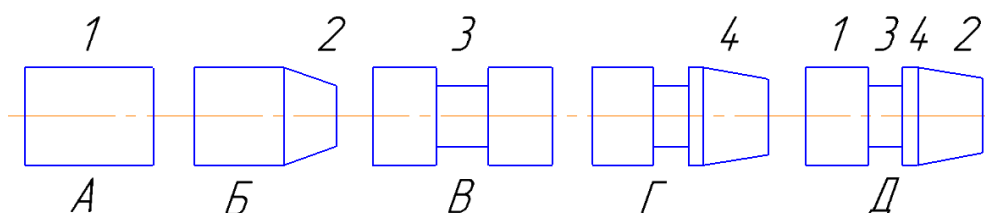


Рисунок 13.5. – Пример группы деталей А, Б, В, Г и замены ее одной комплексной деталью Д

Деталь Д является комплексной для данной группы, поскольку у нее имеются все поверхности других деталей группы.

Технологический процесс комплексной детали имеет следующие возможности:

1) если заданная точность всех поверхностей, помеченных одинаковыми цифрами, одинакова, то план обработки (последовательность операций и переходов) комплексной детали может служить планом обработки для любой из остальных деталей группы (с пропуском ненужных операций или переходов);

2) если помеченные одинаковыми цифрами поверхности одинаковы по своим размерам, то для любой из деталей группы не требуется иных мерных инструментов или иной установки инструментов на выполняемые

размеры, кроме тех, что необходимы для комплексной детали. Иначе говоря, любую из деталей группы можно изготовить без переналадки станка на выполняемые размеры;

3) если линейные размеры поверхностей, помеченных одинаковыми цифрами, одинаковы, то любую из деталей можно изготовить без переналадки станка на продольные размеры.

При наличии таких возможностей все детали группы можно было бы изготовить вовсе без какой-либо переналадки станка.

В производственном отношении это равноценно увеличению серийности выпуска комплексной детали. Если в силу малого заданного выпуска каждой отдельной детали станок не может быть загружен только одной деталью, то теперь загрузка его увеличится и может приблизиться к полной загрузке станка во времени, т.е. за станком можно будет закрепить обработку одной этой группы из n деталей, используя его без переналадок. Условия эксплуатации станут такими же, как в массовом производстве с той лишь разницей, что он будет занят не одной деталью, а группой деталей.

В рассмотренном случае детали обрабатывались в одну операцию. Эти же принципы осуществимы и при необходимости разделения технологического процесса на ряд операций.

При этом, обеспечив для всех потребных станков столь высокую загрузку, чтобы не было необходимости догружать их другими операциями, можно получить поточную линию.

Разница по сравнению с условиями массового производства заключается в том, что эта линия будет многопредметной, групповой.

Однако изготовленные по групповому технологическому процессу детали, хотя и сходные, но все же разные.

Поэтому вовсе исключить какую-либо переналадку станков при выполнении группового процесса удастся только в некоторых особо благоприятных случаях. Высокая степень концентрации операций в любом процессе, тем более в групповом, оправдывается, прежде всего, при условии автоматического получения размеров. Для этого необходимы определенные приспособления для детали и постоянная или быстро восстанавливаемая наладка инструментов на размер. Проще всего переналадка исключается на станках, конструкция которых специально рассчитана на многопереходные операции (револьверные, многорезцовые автоматы и т.п.).

В случае когда необходимы разные приспособления для деталей, входящих в группу, или невозможно связать со станком нужное количество инструментов, для уменьшения времени на переналадку применяют

особые средства. К ним относятся быстро переналаживаемые с детали на деталь (групповые) приспособления, многоместные приспособления для инструментов, специальные станки и т.п.

13.6 Модульные и мобильные технологии

Новым методом проектирования технологических процессов является метод, основанный на **модульном принципе** их построения, предложенным профессором Б.М. Базровым. Используя идеи создания типовых и групповых техпроцессов, этот метод предусматривает два принципиально новых положения:

- 1) независимость технологических процессов от конкретных условий каждого предприятия;
- 2) независимость классификации деталей от технологических признаков.

Для реализации такого подхода необходимо разрабатывать унифицированные процессы, которые, с одной стороны, будут учитывать имеющиеся в машиностроении технологические средства, а с другой – учитывать последние достижения науки и техники. Устранение противоречий, заложенных в этом подходе, достигается путем приспособления технологии к изделию и классификации изделий по служебному назначению. В качестве объекта классификации принято сочетание поверхностей, предназначенных для совместного выполнения законченной служебной функции детали, называемых модулем поверхностей. Модули поверхностей деталей, получившие название конструкторских, разделяются на три класса: рабочие, базирующие и связующие. Классы, в свою очередь, делятся на подклассы, в которые входят совокупности поверхностей простой и сложной формы, далее каждый подкласс делится на две группы: по характеру геометрии поверхностей и по характеру функций, выполняемых поверхностями. Модули поверхностей также объединяются в группу, характеризующую изготовлением по одному технологическому процессу, и называются интегральным модулем поверхностей.

Номенклатура типов модульных поверхностей ограничена 26 наименованиями, что открывает широкие возможности для типизации и унификации технологического обеспечения их изготовления. Однако нет полной уверенности, что предлагаемая номенклатура охватывает все возможные сочетания поверхностей. Нередко подразделить поверхности на базирующие, рабочие и связующие бывает довольно затруднительно. Например, для шпинделя или вала станка, устанавливаемого на гидродинамических

или гидростатических опорах, базирующие и рабочие поверхности могут совпадать, а связующие – служить рабочими. Кроме того, вводимый комплект конструкторских баз из 24 наименований дополняется комплектом технологических баз, например, для приспособлений в количестве 14 наименований, что резко увеличивает общее количество базирующих поверхностей и затрудняет их выбор.

Организация производственных процессов для модульных технологий осуществляется по поточной форме, согласно которой заготовки сначала поступают в отделение формирования партий, где их объединяют в соответствии со специализацией станков. Партий будет столько, сколько у детали интегральных модульных поверхностей, а значит, будет такое же количество переформирований деталей из партии в партию и движений партий на специальные станки. Такая схема организации производства представляется довольно сложной и трудоемкой.

В модульном производстве станки должны создаваться для определенной технологии и быть сборно-разборными, а приспособления, инструментальная наладка и контрольно-измерительные средства должны иметь типаж основных элементов с учетом интегральных модулей и модулей поверхностей. Однако в настоящее время таких конструкций не существует, это дело будущего.

Перспективной является концепция **мобильного производства**, предлагаемая профессором Н.Н. Попок и включающая основные принципы модульных и гибких технологий.

Мобильное производство – это производство изделий мелкими сериями большой номенклатуры с минимальными временными и финансовыми затратами. Степень мобильности производства Q_m определяется его возможностью реализовать данную степень сложности изделия или его способностью быстро и с минимальными затратами перестраиваться на выпуск новой продукции:

$$Q_m = f\left(\frac{\Delta Q}{\Delta \tau}, \Delta Z\right),$$

где ΔQ – отклонение степени сложности нового и базового вариантов производства;

$\Delta \tau$ – интервал времени, необходимый для реализации нового варианта производства;

ΔZ – величина дополнительных материальных затрат на реализацию нового варианта производства.

В свою очередь, степень сложности изделия представляется как показатель, включающий группу структурной сложности изделия и поправочные коэффициенты на его концептуальную сложность, новизну и т.д. Структурная сложность изделия Q_C определяется трудоемкостью его проектирования или изготовления и рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_C = G_{cc} \cdot k_K \cdot k_M \cdot k_B \cdot k_Э \cdot k_T, \quad (13.4)$$

где G_{cc} – группа структурной сложности изделия;

k_K – коэффициент концептуальной сложности изделия;

k_M – коэффициент новизны решений;

k_B – коэффициент изменения веса изделия;

$k_Э$ – коэффициент изменения эксплуатационных характеристик изделия;

k_T – коэффициент изменения габаритных размеров изделия.

Показатели и коэффициенты, входящие в данную формулу, определяются из нормативной литературы.

В основе построения технологических процессов в мобильном производстве находятся технологические модули, которые в мобильном отличие от модульных технологий являются по сути технологическими переходами по обработке унифицированных конструктивных элементов и поверхностей деталей с учетом материалов заготовки и инструмента, режима резания и видов механической обработки. Имея базы данных технологических модулей, из них, как из кирпичиков, может быть построен любой технологический процесс. Для реализаций мобильных технологий используется быстропереналаживаемая технологическая оснастка, что повышает гибкость производства. Автоматизированный выбор из баз данных необходимых технологических модулей позволяет сократить время на проектирование технологических процессов изготовления изделий, а использование быстропереналаживаемой технологической оснастки обеспечивает сокращение финансовых затрат на производство.

14 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

14.1 Расчет и экспериментальное определение погрешности базирования заготовок

Цель работы – практическое освоение реализации схем базирования заготовок и изучение факторов, влияющих на погрешность базирования.

Теоретические положения (см. разделы 1.2, 1.3)

Методические указания

В данной лабораторной работе предусматривается расчет и экспериментальное определение погрешности базирования при трех различных схемах установки заготовок.

Установка заготовки по плоскости основания и двум боковым сторонам

При фрезеровании уступа в партии заготовок методом автоматического получения размера A (рисунок 14.1) технологическая база (плоскость Б) не совпадает с измерительной (плоскость В) и возникает погрешность базирования $\Delta_{б_A}$, равная допуску T_n на замыкающий размер между измерительной и технологической базами. В данном случае экспериментально выделить погрешность базирования среди других, возникающих в процессе обработки погрешностей, не представляется возможным.

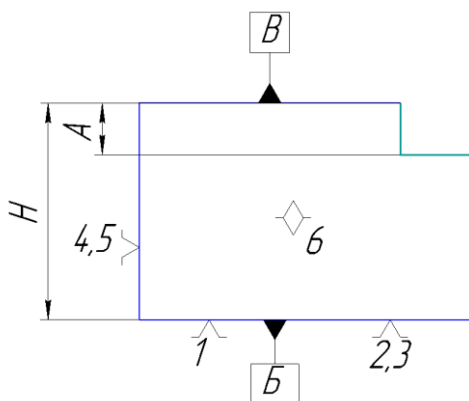


Рисунок 14.1. – Схема фрезерования уступа при установке заготовки по плоскости и двум боковым сторонам

В лабораторной работе образующаяся в процессе обработки поверхность уступа имитируется тонкой риской, полученной с помощью штангенрейсмаса. Погрешность базирования экспериментально определяется

как поле рассеяния ω_{δ_A} размера A при его измерении на инструментальном микроскопе с учетом ширины наблюдаемой риски.

Установка вала на призме

В лабораторной работе аналогично предыдущему случаю путем проведения тонкой риски на торце вала имитируется фрезерование плоскости, перпендикулярной оси призмы, настроенным инструментом с получением размеров H_1 и H_2 (рисунок 14.2.) при обработке партии заготовок.

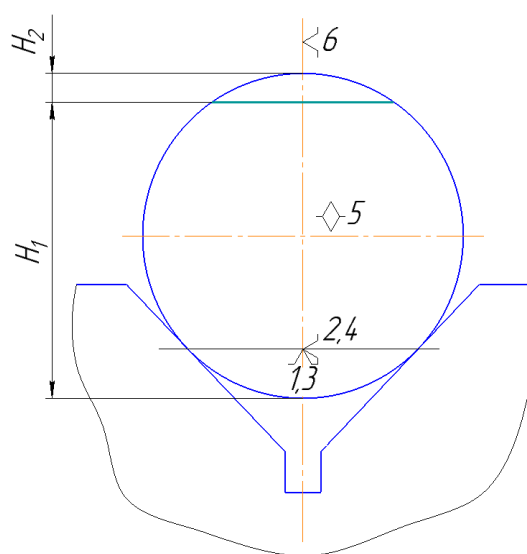


Рисунок 14.2. – Схема фрезерования плоскости при установке вала на призме

Размеры H_1 и H_2 также измеряются на инструментальном микроскопе с учетом толщины наблюдаемой риски. Погрешности базирования определяются как поля рассеивания $\omega_{\delta_{H_1}}$ и $\omega_{\delta_{H_2}}$ размеров H_1 и H_2 .

Установка заготовки по плоскости и двум отверстиям

Угловое смещение заготовки и ее перекос при установке на два пальца определяются на специальном приспособлении (рисунок 14.3). На основании 1 приспособления имеются один срезанный палец 2 и пять цилиндрических пальцев 3, расположенных на одной линии со срезанным пальцем. Каждая из заготовок 4 комплекта (5 шт.) имеет по 6 отверстий, из них только два предназначены для установки на срезанный и цилиндрический пальцы. Диаметры остальных четырех отверстий такие, что при возможном угловом смещении их цилиндрические поверхности не контактируют с установочными пальцами. Приспособление имеет индикаторную отсчетную головку 5 и четыре подпружиненных упора 6.

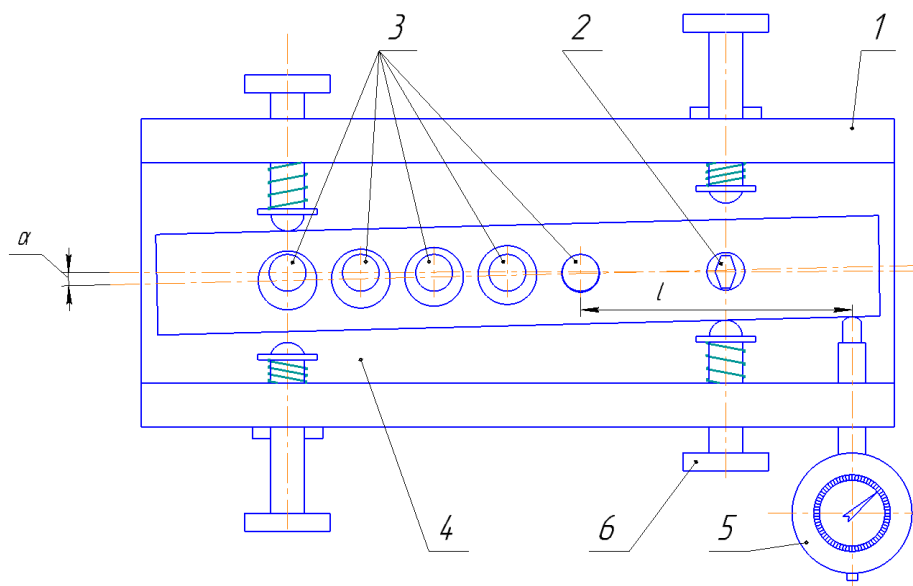


Рисунок 14.3. – Схема приспособления для измерения перекоса, при установке заготовки по плоскости и двум отверстиям

Для определения перекоса заготовки 4, установленной на два пальца, при помощи двух диагонально расположенных упоров 6 ее прижимают к пальцам с противоположных сторон и регистрируют показание a индикаторной головки 5, которая своим наконечником с натягом касается боковой стороны заготовки. Затем заготовка освобождается от действия упоров, с помощью другой пары упоров поворачивается в противоположном направлении и регистрируется показание b индикаторной головки.

Перекос заготовки (мм):

$$\Pi' = (b - a) / 2. \quad (14.1)$$

Угол поворота заготовки (угловое смещение) в этом случае

$$\alpha' = \arctg \frac{\Pi'}{l_i}, \quad (14.2)$$

где $l_i = L_i + \Delta L$ – расстояние от центра отверстия, базирующегося на цилиндрический палец, до основания перпендикуляра, опущенного из точки контакта наконечника отсчетной головки с заготовкой на общую ось базовых отверстий (см. рисунок 14.3).

Межцентровые расстояния базирующих отверстий у каждой заготовки различны. Для сопоставления значений перекоса различных заготовок принято определять перекос на 100 мм длины:

$$P'_{100} = \frac{P' \cdot 100}{l_i} \text{ или } P'_{100} = 100 \operatorname{tg} \alpha'. \quad (14.3)$$

Необходимое оборудование, оснастка и приборы

1. Комплекты моделей призматических, цилиндрических и пластинчатых заготовок.
2. Плита поверочная.
3. Штангенрейсмас ШР-250.
4. Микрометры МК-25, МК-50.
5. Большой инструментальный микроскоп модели БМИ-1.
6. Комплект призм с углом $\alpha = 60^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha = 120^\circ$.
7. Специальное приспособление для определения их перекосов при установке заготовок по плоскости и двум отверстиям.

Порядок выполнения работы

Установка заготовки по плоскости основания и двум боковым сторонам

1. Измерить на инструментальном микроскопе или микрометром высоту H пяти заготовок и определить поле рассеяния размера. Приняв допуск T_H на размер H равным полю рассеяния ω_H , определить погрешность базирования Δ_{δ_A} при выполнении размера A в соответствии со схемой (см. рисунок 14.1).
2. Установив поочередно заготовки на поверочную плиту, провести на заготовках тонкие риски настроенным на размер штангенрейсмасом.
3. Измерить на инструментальном микроскопе размер A (см. рисунок 14.1) в партии заготовок и определить поле рассеяния ω_A .
4. Сопоставить поле рассеяния ω_A с погрешностью базирования Δ_{δ_A} .

Установка вала на призме

1. Измерить на инструментальном микроскопе или микрометром диаметр d пяти заготовок гладких валиков и определить поле рассеяния размера. Приняв допуск T_d равным полю рассеяния ω_d диаметра валиков, рассчитать по формулам (1.4) и (1.5) возможные погрешности базирования $\omega_{\delta_{H_1}}$ и $\omega_{\delta_{H_2}}$ при выполнении размеров H_1 и H_2 в соответствии с рисунком 14.2 для призм с углами $\alpha = 60^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha = 120^\circ$.

2. Установив поочередно валики на призму с углом $\alpha = 60^\circ$, закрепленную на поверочной плите, провести на торцах валиков тонкие риски настроенным на размер штангенрейсмасом.

3. Измерить на инструментальном микроскопе размеры H_1 и H_2 (см. рисунок 14.2) в партии валиков и определить их поля рассеяния ω_{H_1} и ω_{H_2} .

4. Повторить пункты 2 и 3 для призм с углами $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 120^\circ$.

5. Занести результаты измерений в таблицу 14.1 и результаты расчетов в таблицу 14.2.

Таблица 14.1. – Результаты измерений установки вала в призмы

№ заг.	d	$\alpha = 60^\circ$		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 120^\circ$	
		H_1	H_2	H_1	H_2	H_1	H_2

Таблица 14.2. – Результаты расчетов погрешности базирования при установке вала в призмы

ω_d	$\alpha = 60^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				$\alpha = 120^\circ$			
	$\Delta_{\delta_{H_1}}$	ω_{H_1}	$\Delta_{\delta_{H_2}}$	ω_{H_2}	$\Delta_{\delta_{H_1}}$	ω_{H_1}	$\Delta_{\delta_{H_2}}$	ω_{H_2}	$\Delta_{\delta_{H_1}}$	ω_{H_1}	$\Delta_{\delta_{H_2}}$	ω_{H_2}

6. Проанализировать полученные результаты.

Установка заготовки по плоскости и двум отверстиям

1. Измерить с помощью инструментального микроскопа диаметры установочных пальцев приспособления и базовых отверстий заготовок.

2. Рассчитать по формуле (1.10) максимальные зазоры в сопряжениях отверстие – палец.

3. Рассчитать по формуле (1.8) возможные угловые смещения заготовок и по формуле (1.9) возможные перекосы на длине 100 мм для каждого межцентрового расстояния (см. рисунок 14.3).

4. Установить заготовку на пальцы приспособления и при помощи двух диагонально расположенных упоров повернуть ее на максимально возможный угол. Записать показания a индикаторной головки.

5. Отпустить упоры, придать заготовке другое положение при помощи второй пары упоров и записать показание b индикаторной головки.

6. Вычислить перекося по формуле (14.1) и действительный перекося на длине 100 мм по формуле (14.3). Рассчитать угол смещения заготовки по формуле (14.2).

7. Выполнить в указанной выше последовательности пункты 4 – 6 для других четырех установок.

8. Результаты расчетов и измерений занести в таблицу 14.3. Сопоставить результаты расчетов и измерений угла смещения.

Таблица 14.3. – Протокол расчетов и измерений при базировании заготовки по плоскости и двум отверстиям

L , мм	α	Π_{100}	α'	Π'	Π'_{100}
60					
80					
100					
120					
140					

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель и решаемые задачи.
3. Сведения об используемой оснастке.
4. Отдельно по каждому из подразделов должны быть приведены: схема установки, результаты расчетов и измерений, выводы.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под погрешностью базирования и в каком случае она возникает?
2. В каких случаях погрешность базирования равна нулю?
3. Чему равна погрешность базирования?
4. Как рассчитать погрешность базирования при установке заготовки на призме?
5. Почему при установке заготовки по плоскости и двум отверстиям один из пальцев приспособления делают срезанным?
6. Как рассчитать возможный перекося заготовки при установке по плоскости и двум отверстиям?
7. Как влияет межцентровое расстояние базовых отверстий на перекося и угловое смещение заготовки?

14.2 Исследование точности изготовления деталей методами математической статистики

Цель работы – изучить и применить на практике математические методы анализа точности размерных параметров детали при выполнении механической операции обработки ее поверхностей.

Теоретические положения (см. разделы 3.2, 4.1, 4.2)

Методические указания

Исследование в данной работе методов математической статистики предусматривает построение точечных диаграмм и кривых распределения результатов измерений параметров детали. Последовательность построения точечных диаграмм и кривых распределения изложена в разделе 4.2.

Примеры построения точечной диаграммы и кривых распределения приведены соответственно на рисунках 14.4 и 14.5.

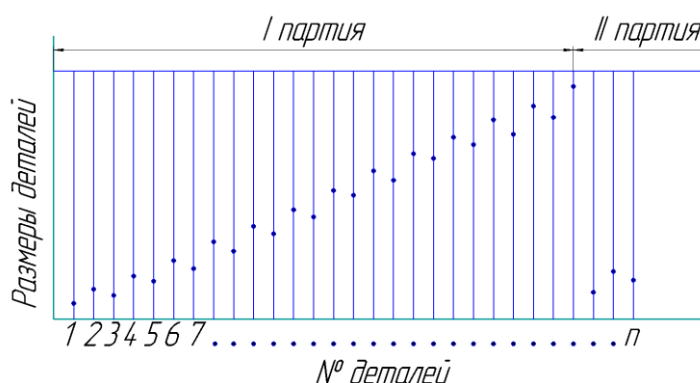


Рисунок 14.4. – Пример построения точечной диаграммы

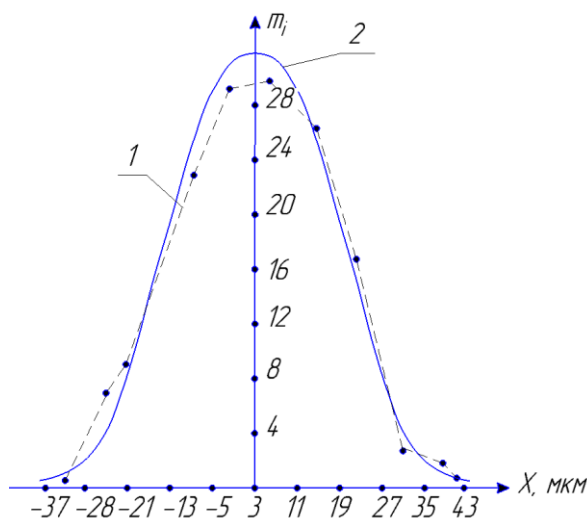


Рисунок 14.5. – Пример построения практической (1) и теоретической (2) кривых распределения

Обработка результатов измерений производится по формулам (4.3), (4.7) и (4.8). В этих формулах величины $\varphi(t)$ и $F(t)$ выбираются из таблицы 14.4.

Таблица 14.4. – Значение функции Лапласа

t	$\varphi(t)$	$F(t)$	t	$\varphi(t)$	$F(t)$
0,0	0,3989	0,0000	1,6	0,1109	0,4452
0,1	0,3970	0,0398	1,7	0,0940	0,4554
0,2	0,3910	0,0793	1,8	0,0790	0,4641
0,3	0,3814	0,1179	1,9	0,0656	0,4713
0,4	0,3683	0,1554	2,0	0,0540	0,4772
0,5	0,3521	0,1915	2,1	0,0440	0,4821
0,6	0,3332	0,2257	2,2	0,0355	0,4861
0,7	0,3123	0,2580	2,3	0,0888	0,4893
0,8	0,2897	0,2881	2,4	0,0224	0,4918
0,9	0,2661	0,3159	2,6	0,0136	0,4953
1,0	0,2420	0,3413	2,7	0,0104	0,4965
1,1	0,2179	0,3643	2,8	0,0079	0,4974
1,2	0,1942	0,3849	2,9	0,0060	0,4981
1,3	0,1714	0,4032	3,0	0,00443	0,4986
1,4	0,1497	0,4192	3,5	0,00087	0,49977
1,5	0,1296	0,4332			

При определении количества годных деталей, а также деталей, попадающих в исправимый и неисправимый брак, следует перейти от аргумента $x = A - A_{\text{ср}}$ к аргументу $t = \frac{x}{\sigma}$;

$$n_0 = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad \text{или} \quad n_0 = N [F(t_2) - F(t_1)] = N [F(t_2) + F(t_1)],$$

где $F(t_1)$ и $F(t_2)$ – значения функции Лапласа при соответствующих значениях аргумента t .

Количество деталей, попадающих в исправимый брак, определяется из выражения

$$n_{\text{исп.}} = \frac{N}{2} - NF(t_2),$$

а количество деталей, попадающих в неисправимый брак

$$n_{\text{неисп.}} = \frac{N}{2} - NF(t_1).$$

Порядок выполнения работы

1. Измерить 50 последовательно обработанных ступеней вала на настроенном токарно-винторезном станке модели 16K20.

Результаты измерений размеров последовательно обработанных поверхностей деталей сводятся в таблицу 14.5.

Таблица 14.5. – Результаты измерений контролируемого параметра

№ изм.	1	2	3	...	50
Размер x_i					

2. По данным измерений построить точечную диаграмму (см. рисунок 14.2).

3. Произвести расчеты, необходимые для построения практической кривой распределения.

4. Построить практическую кривую распределения (см. рисунок 14.5).

5. На практической кривой построить кривую нормального распределения (см. рисунок 14.5) по точкам со следующим значением абсцисс:

$$x_1 = A - A_{cp} = 0; \quad x_2 = \pm 0,5\sigma; \quad x_3 = \pm \sigma; \quad x_4 = \pm 2\sigma; \quad x_5 = \pm 3\sigma.$$

6. По заданному полю допуска на контролируемую величину определить количество годных деталей, а также деталей, которые являются исправным и неисправным браком.

Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Оборудование и измерительные приборы.
3. Эскиз обработки.
4. Таблицы результатов измерений.
5. Точечная диаграмма.
6. Расчетные значения для построения практической кривой распределения.
7. Практическая кривая распределения и кривая нормального распределения.
8. Расчет количества годных деталей и количества деталей, попадающих в исправимый и неисправимый брак.
9. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Распределение каких параметров качества детали подчиняется нормальному закону?
2. Как определяются среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение исследуемого параметра качества?
3. Как определить количество годных деталей и количество деталей, попадающих в исправимый и неисправимый брак?
4. В чем суть метода точечных диаграмм?
5. В чем преимущество метода точечных диаграмм перед законом нормального распределения?

14.3 Исследование взаимосвязи размерной точности смежных операций технологического процесса

Цель работы – практическое освоение методики исследования взаимосвязи точностных характеристик качества двух смежных операций технологического процесса с помощью корреляционного анализа.

Теоретические положения (см. разделы 7 и 8)

Методические указания

Для проведения лабораторной работы используется заранее подготовленный комплект деталей, в котором заготовки прошли черновую и чистовую обработки на настроенном токарно-винторезном станке модели 16K20Ф3 с ЧПУ фирмы «Siemens» методом автоматического получения размеров. Эскиз детали приведен на рисунке 14.6.

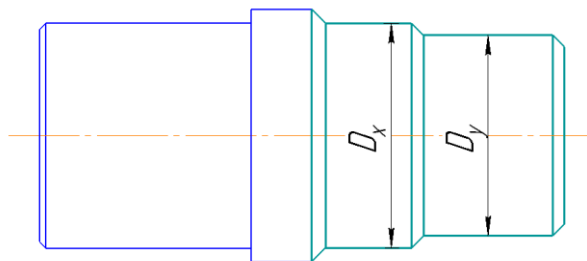


Рисунок 14.6. – Эскиз детали

Экспериментальная часть работы заключается в измерении диаметра ступени валика до (D_x) и после (D_y) чистовой обработки.

Далее проводится определение наличия и степени взаимосвязи между входными (после черновой обработки) и выходными (после чистовой обработки) отклонениями действительных размеров валиков от их номинальных значений, а также расчет допуска на черновое обтачивание, позволяющего обеспечить допустимую погрешность после чистового обтачивания.

Связь между значениями входных и выходных показателей качества деталей при изготовлении может быть описана корреляционной зависимостью. В большинстве случаев при нормальном распределении двух случайных величин x и y корреляционная связь между ними является линейной, и уравнение регрессии y от x имеет вид

$$\bar{Y} = a_0 + a_1 \bar{X}, \quad (14.4)$$

где \bar{Y} и \bar{X} – средние значения одноименной погрешности на выходе операции;

a_0 и a_1 – коэффициенты уравнения регрессии.

Для полной характеристики погрешностей на выходе необходимо иметь два показателя точности: \bar{Y} и σ_y или σ_y^2 .

Дисперсия погрешности на выходе

$$\sigma_y^2 = \sigma_{yx}^2 + a_1^2 \sigma_x^2, \quad (14.5)$$

где σ_{yx}^2 – дисперсия собственных случайных погрешностей данной операции;

σ_x^2 – дисперсия погрешностей на входе.

Из приведенных зависимостей вытекает следующее. Средняя погрешность на выходе Y данной операции складывается из двух частей: $a_1 \bar{X}$ – пропорциональной средней величине входной погрешности X и a_0 – постоянной относительно \bar{X} .

Дисперсия погрешности на выходе σ_y^2 также складывается из двух частей: $a_1^2 \sigma_x^2$ – пропорциональной дисперсии входной погрешности σ_x^2 и σ_{yx}^2 – постоянной относительно σ_x^2 , т.е. от нее не зависящей.

Коэффициент a_1 в уравнениях (14.4) и (14.5) показывает, какая часть входной погрешности перенесена на выходную. Поэтому его называют коэффициентом переноса или передаточной характеристикой процесса. Если $a_1 = 0$, то полученная на предшествующей операции погрешность полностью исправляется на данной операции. Если $a_1 = 1$, то исправление отсутствует, и имеет место полный перенос входной погрешности. При $0 < a_1 < 1$ имеет место частичный перенос погрешности или частичное (неполное) ее исправление на данной операции.

Величина $(1 - a_1)$ – коэффициент исправления, показывающий, какая часть входной погрешности исправляется на данной операции.

В соответствии с ГОСТ 27.202 теснота зависимости между погрешностями на двух смежных технологических операциях должна определяться путем расчета коэффициента корреляции

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (14.6)$$

где x_i и y_i – результаты измерений деталей по одноименному параметру качества после первой и второй операций соответственно;

n – количество контролируемых деталей.

При прямой функциональной зависимости между входным и выходным значениями погрешности одноименного параметра качества $r = 1$. Если функциональная зависимость носит обратный характер, то $r = -1$. При отсутствии линейной зависимости $r = 0$. Во всех остальных случаях $-1 < r < 1$.

Коэффициент a_1 в уравнениях (14.4) и (14.5) определяется по формуле

$$a_1 = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \quad (14.7)$$

Подставляя это выражение в уравнение (14.5), можно определить σ_{yx}^2 :

$$\sigma_{yx}^2 = \sigma_y^2 (1 - r^2). \quad (14.8)$$

Дисперсия на входе, где σ_x^2 определяется из уравнения (14.5):

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{yx}^2}{a_1^2}$$

или из формулы (14.7):

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 \frac{r^2}{a_1^2}.$$

При неизменном технологическом процессе изготовления деталей (постоянство применяемого оборудования, инструмента, приспособления, режимов резания) значения r и a_1 постоянны. В этом случае на основе выражений (14.6) и (14.7) можно решать две задачи. Прямая задача заключается в том, что по известным вероятностным характеристикам входной погрешности (σ_x) и преобразующей системы (r), а также коэффициенту уравнения связи a_1 (формула (14.4)) определяют показатель выходной точности

$$\sigma_y = \sigma_x \frac{a_1}{r}.$$

В обратной задаче устанавливается, каков должен быть выходной показатель точности, чтобы точность обработки на данной операции была не ниже заданной $\sigma_x = \sigma_y \frac{r}{a_1}$.

Рассмотрим пример выполнения расчетов

Отклонения действительных размеров диаметра валиков от номинального размера после черновой (x) и чистовой (y) обработки поверхностей детали в количестве 60 штук приведены в таблице 14.6.

Необходимо установить наличие связи между размерами деталей после черновой и чистовой обработки; дисперсии σ_{yx}^2 и σ_x^2 ; погрешность размера D_x после черновой обработки, позволяющую обеспечить погрешность этого размера после чистовой обработки не более допустимой $\delta_y = 75$ мкм.

Таблица 14.6. – Протокол измерения отклонений диаметра ступени валиков от номинальных значений после чернового и чистового обтачивания (мкм)

Номер детали	x	y	Номер детали	x	y	Номер детали	x	y	Номер детали	x	y
1	-40	-10	16	-2	5	31	11	18	46	24	22
2	-38	-6	17	-5	6	32	5	12	47	21	20
3	-40	-4	18	-6	6	33	9	10	48	31	22
4	-36	-6	19	-5	10	34	7	10	49	46	32
5	-35	-10	20	-6	6	35	9	12	50	32	26
6	-35	6	21	-15	6	36	14	6	51	42	37
7	-38	-4	22	2	4	37	16	18	52	32	28
8	-29	-2	23	-3	10	38	11	20	53	42	24
9	-24	4	24	-4	12	39	16	20	54	38	28
10	-24	2	25	-3	10	40	25	18	55	34	44
11	12	6	26	3	10	41	25	20	56	47	30
12	-17	-2	27	6	10	42	23	18	57	40	34
13	-14	4	28	14	9	43	31	20	58	37	34
14	-17	-2	29	8	17	44	30	28	59	38	33
15	-14	4	30	3	4	45	29	30	60	35	52

В рассматриваемом примере количество интервалов $K_x = 10$, размер интервала $C_x = 10$ мкм; $K_y = 9$, $C_y = 8$ мкм.

Составляем корреляционную таблицу 14.7 и дополняем строками и графами для вычисления статистических характеристик распределений x и y . Для упрощения вычислений заменим середины интервалов x на

$$x' = \frac{x - a_x}{c_x} \text{ и } y \text{ на } y' = \frac{y - a_y}{c_y}. \text{ Значения } a_x \text{ и } a_y \text{ выбираются такими, чтобы}$$

середины интервалов по x и y в новой системе координат принимали целые значения. В данном примере $a_x = -5$ и $a_y = 12$.

Корреляционная таблица (см. таблицу 14.7) заполняется по порядку протокола измерений (см. таблицу 14.6), и делаются отметки в виде черточек в той клетке таблицы, где границы интервалов по x и y соответствуют

данному сочетанию отклонений размера (x_i, y_i). На основании количества черточек в каждой клетке в дальнейшем в этой же клетке проставляется цифра, соответствующая их числу.

Таблица 14.7. – Корреляционная таблица

y'	y	x'										m_y	$m_{xy'}$	$m_y(y')^2$
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5			
		x												
		(-50) – [-40]	(-40) – [-30]	(-30) – [-20]	(-20) – [-10]	(-10) – [0]	(0) – [10]	(10) – [20]	(20) – [30]	(30) – [40]	(40) – [50]			
5	[48] – (56)								1/		1	5	25	
4	[40] – (48)								1/		1	4	16	
3	[32] – (40)								3///	2//	5	15	45	
2	[24] – (32)							2//	3///	2//	7	14	28	
1	[16] – (24)						1/	4////	5/////	2//	12	12	12	
0	[8] – (16)					4////	6////////	1/			11	0	0	
-1	[0] – (8)		1/	2//	3//	4////	2//	2//			14	-14	14	
-2	[-8] – (0)	1/	3///	1/	2//						7	-14	28	
-3	[-16] – (-8)	1/	1/								2	-6	18	
Σ												60	16	186
№ строки	1	n_x	2	5	3	5	8	9	7	7	10	4	$\Sigma n_x = 60$	
	2	$n_x x'$	-8	-15	-6	-5	0	9	14	21	40	20	$\Sigma n_x x' = 70$	
	3	$n_x (x')^2$	32	45	12	5	0	9	28	63	160	100	$\Sigma n_x (x')^2 = 454$	
	4	$\Sigma n_{xy'}$	-5	-10	-4	-7	-4	-1	2	9	26	10	$\Sigma n_{xy'} = 16$	
	5	$x' \Sigma n_{xy'}$	20	30	8	7	0	-1	4	27	104	50	$\Sigma (x' \Sigma n_{xy'}) = 249$	

Примечания:

1. В таблице 14.7 приводятся частоты наблюдаемых значений пары чисел (x_i, y_i) ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

2. n_x – частота наблюдаемых значений отклонений диаметра деталей после чернового обтачивания (сумма частот i -того столбца).

3. m_y – частота наблюдаемых значений отклонений диаметра деталей после чистового обтачивания (сумма частот i -той строки).

4. Контроль составления корреляционной таблицы:

$$\Sigma n_x = \Sigma m_y = \Sigma n_{xy} = n.$$

На основании данных таблицы 14.7 определяются статистические характеристики распределения случайных величин x и y с учетом выше-приведенной формулы:

$$\overline{X'} = \frac{1}{n} \sum n_x x' = \frac{70}{60} = 1,17;$$

$$\overline{X} = a_x + c_x \overline{X'} = -5 + 10 \cdot 1,17 = 6,7 \text{ мкм};$$

$$\overline{Y'} = \frac{1}{n} \sum m_y y' = \frac{16}{60} = 0,266;$$

$$\overline{Y} = a_y + c_y \overline{Y'} = 12 + 8 \cdot 0,266 = 14,1 \text{ мкм};$$

$$\sigma_{x'} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_x (x')^2 - (\overline{X'})^2} = \sqrt{\frac{454}{60} - 1,17^2} = 2,5 \text{ мкм};$$

$$\sigma_x = c_x \sigma_{x'} = 10 \cdot 2,5 = 25 \text{ мкм};$$

$$\sigma_{y'} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum m_y (y')^2 - (\overline{Y'})^2} = \sqrt{\frac{186}{60} - 0,266^2} = 1,74 \text{ мкм};$$

$$\sigma_y = c_y \sigma_{y'} = 8 \cdot 1,74 = 14 \text{ мкм}.$$

Для определения коэффициента корреляции вычисляется C_{xy}' :

$$C_{xy}' = \frac{1}{n} \sum (x' \sum n_{xy} y') - \overline{X'} \cdot \overline{Y'} = \frac{249}{60} - 1,17 \cdot 0,266 = 3,84,$$

тогда коэффициент корреляции

$$r = \frac{C_{xy}'}{\sigma_{x'} \sigma_{y'}} = \frac{3,84}{2,5 \cdot 1,74} = 0,88.$$

Значение коэффициента корреляции свидетельствует о наличии тесной линейной взаимосвязи между погрешностями до и после операции чистового обтачивания.

Для составления уравнения связи y с x вычисляем коэффициенты a_1 и a_0 :

$$a_1 = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0,88 \cdot \frac{14}{25} = 0,493;$$

$$a_0 = \bar{Y} - a_1 \bar{X} = 14,1 - 0,493 \cdot 6,7 = 10,8.$$

Уравнение связи имеет вид $\bar{Y} = 10,8 + 0,493\bar{X}$.

Таким образом, средняя погрешность на выходе операции чистового обтачивания складывается из двух компонентов: из исправленной в 0,493 раза погрешности после чернового обтачивания и погрешности 10,8 мкм, возникшей на данной операции.

Коэффициент исправления операции чистового обтачивания

$$1 - a_1 = 1 - 0,493 = 0,507.$$

Дисперсия собственных случайных погрешностей чистовой операции σ_{yx}^2 и дисперсия исправленной входной погрешности $a_1^2 \sigma_x^2$ вычисляются следующим образом. По формуле (14.8) имеем

$$\sigma_{yx}^2 = \sigma_y^2 (1 - r^2) = 14^2 \cdot (1 - 0,88^2) = 45 \text{ мкм}^2;$$

$$a_1^2 \sigma_x^2 = 0,493^2 \cdot 25^2 = 152 \text{ мкм}^2.$$

Полагая, что распределение размеров на входе и выходе операции чистового обтачивания является нормальным, необходимое значение σ_y на выходе определяется из уравнения $\delta_y = 6\gamma\sigma_y$. Отсюда

$$\sigma_y = \frac{\delta_y}{6\gamma} = \frac{75}{6 \cdot 1,18} = 11 \text{ мкм},$$

где коэффициент γ при доверительной вероятности $a = 0,95$

$$\gamma = 1 + \frac{t_c}{\sqrt{2n}} = 1 + \frac{1,96}{\sqrt{2 \cdot 60}} = 1,18; t_c - \text{критерий Стьюдента, } t_{0,05} = 1,96.$$

Дисперсия σ_x^2 определяется по формуле

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{yx}^2}{a_1^2} = \frac{11^2 - 45}{0,493^2} = 312;$$

отсюда $\sigma_x = \sqrt{312} = 18 \text{ мкм}$. Тогда допуск на размер до операции чистового обтачивания $\delta_y = 6\gamma\sigma_y = 6 \cdot 1,18 \cdot 18 = 128 \text{ мкм}$.

Необходимое оборудование, оснастка и приборы

1. Станок токарно-винторезный модели EMCO S45 TCM Sinumerik или 16K20Ф3 с ЧПУ «Sinumerik 802D».

2. Скобы рычажные СР-25, СР-50 или микрометр МК 25, МК50.
3. Комплект экспериментальных образцов.

Порядок выполнения работы

1. Измерить диаметр ступени комплекта деталей после чернового точения. Результаты измерений x_i занести в таблицу 14.6.

Измерить диаметр ступени вала комплекта деталей после чистового обтачивания. Результаты измерений y_i занести в таблицу 14.6.

2. Составить корреляционную таблицу 14.7.

3. По ее данным рассчитать статистические характеристики случайных величин x и y , коэффициент корреляции r , коэффициенты a_1 и a_0 , дисперсии σ_{yx}^2 и σ_x^2 .

4. Определить необходимое значение δ_x .

5. Проанализировать полученные результаты.

6. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Содержание задания и оснащение.
3. Результаты измерений (см. таблицу 14.6).
4. Корреляционная таблица (см. таблицу 14.7).
5. Расчет допустимой погрешности на входе операции чистового обтачивания δ_x .
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Из каких погрешностей складывается выходная погрешность диаметра после чистового обтачивания?
2. Написать формулу для определения дисперсии.
3. Написать формулу для определения допуска на размер на входе операции.

14.4 Исследование влияния износа режущего инструмента на точность обработки поверхности детали

Цель работы – исследовать закономерность размерного износа режущего инструмента и его влияние на точность выполняемого размера поверхности детали.

Теоретические положения (см. раздел 9.2)

Методические указания

При технологических расчетах точности обработки, зная относительный размерный износ режущего инструмента и длину пути резания можно определить погрешность обработки, обусловленную размерным износом, в том случае, когда инструмент работает в зоне нормального износа.

Более сложно учитывается в расчетах точности обработки начальный размерный износ режущего инструмента тогда, когда обработка поверхности начинается вновь заточенным инструментом. При расчетах начальный износ можно учитывать путем прибавления «дополнительного пути» $L_{\text{доп}}$, величина которого зависит от качества заточки и доводки режущего инструмента. В этом случае несколько завышается величина размерного износа в начальный период работы резца, но упрощаются технологические расчеты. При этом величина размерного износа определяется по формуле

$$u = u_0(L_{\text{доп}} + L). \quad (14.9)$$

где L – путь резания, км;

$L_{\text{доп}}$ – дополнительный путь, км.

Зависимость размерного износа режущего инструмента от пути резания (рисунок 14.7), является наиболее типичной, однако форма и наклон кривых размерного износа могут значительно изменяться в зависимости от обрабатываемого материала, материала и геометрии лезвия режущего инструмента, режима резания, СОЖ.

Размерный износ представляет практический интерес только при расчетах точности обработки, т.е. в условиях чистовой обработки. Поэтому в настоящей работе и изучается размерный износ резцов, оснащенных пластинками твердого сплава, при режимах резания чистовой обработки.

Экспериментально размерный износ можно определить, если последовательно следить за изменением расстояния от вершины резца до выбранной измерительной базы, например с помощью инструментального микроскопа. При этом для исключения влияния температурных деформаций резца необходимо выдерживать постоянство температуры при его измерениях. Для этого перед каждым измерением резец выдерживают в ванне с водой постоянной температуры.

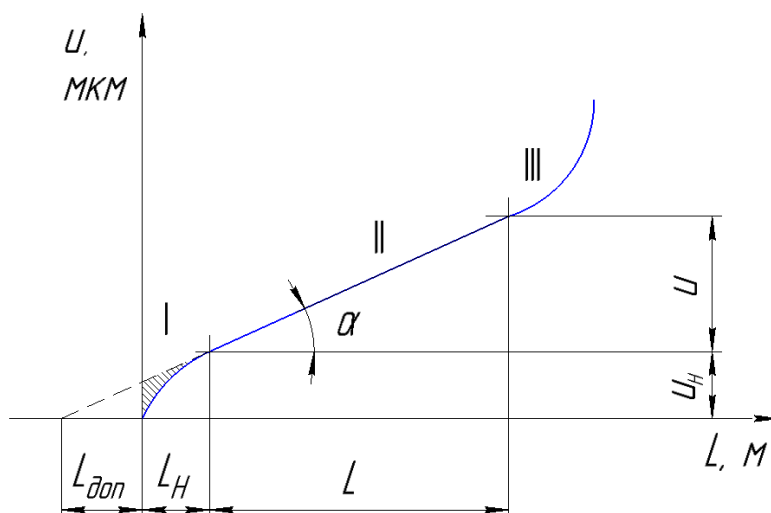


Рисунок 14.7. – Зависимость износа инструмента от пути резания

В результате проведения эксперимента будет получен график зависимости $u = f(L)$.

Обработка графика сводится к аппроксимации функции $u = f(L)$ на участке нормального износа, т.е. к определению коэффициентов A_0 и A_1 в уравнении прямой

$$u = A_0 + A_1 L. \quad (14.10)$$

Обработка экспериментальных данных проводится методом наименьших квадратов. Следует иметь в виду, что при этой обработке не принимаются во внимание точки графика, лежащие на участке начального износа. Уравнение (14.10) есть другая форма записи формулы (14.9), поскольку $A_1 = u_0$ и $A_0 = A_1 L_{\text{доп}}$.

Определение коэффициентов A_0 и A_1 в уравнении (14.10) осуществляется на основе обработки экспериментальных данных на участке нормального износа по методу наименьших квадратов и сводится к решению системы двух линейных уравнений

$$\left. \begin{aligned} nA_0 + A_1 \sum_{i=1}^n L_i &= \sum_{i=1}^n u_i \\ A_0 \sum_{i=1}^n L_i + A_1 \sum_{i=1}^n L_i^2 &= \sum_{i=1}^n L_i u_i \end{aligned} \right\}, \quad (14.11)$$

где u_i – экспериментальное значение размерного износа, соответствующее пути резания L в i -той экспериментальной точке на участке нормального износа;

n – количество экспериментальных точек, используемых для определения коэффициентов A_0 и A_1 .

При проектировании операций технологического процесса выбирают такие режимы обработки, при которых относительный износ инструмента будет наименьшим. Для этого необходимо знать зависимость относительного износа резца от режима резания.

Из режима резания наибольшее влияние на относительный износ резца оказывает скорость резания. С увеличением скорости резания относительный износ уменьшается и при некоторой определенной скорости (оптимальной скорости резания) достигает минимальной величины. При дальнейшем увеличении скорости резания относительный износ несколько возрастает (рисунок 14.8)

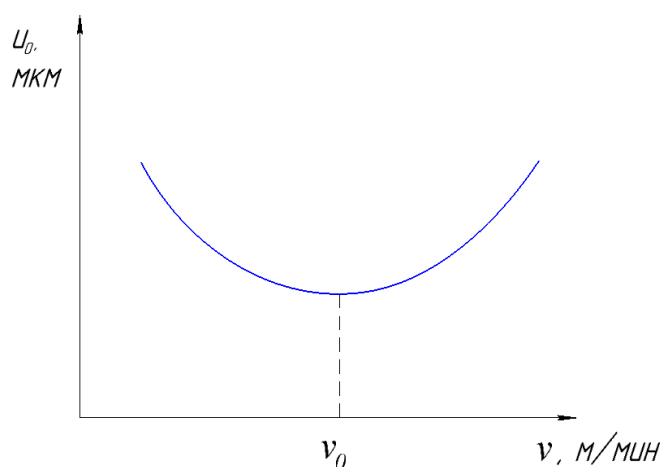


Рисунок 14.8. – Зависимость относительного размерного износа инструмента от скорости резания

Для правильного определения относительного износа резца его необходимо определять только на участке нормального износа, что требует длительных экспериментов с построением $u = f(L)$ для каждой скорости резания.

Для упрощения работы можно использовать заранее приработанные резцы, прошедшие путь резания $L = 1 \dots 1,5$ км (при режимах резания чистовой обработки), т.е. прошедшие период начального износа. Измерение износа резцов производится ранее описанным способом.

После измерения размеров износа резцов по формуле 14.12 устанавливается отклонение диаметра действительного D_d от заданного D_z , что определяет точность обработки.

$$u = \frac{D_d - D_z}{2} \pm \Delta, \quad (14.12)$$

где Δ – постоянная составляющая учитывающая жесткость системы заготовки–инструмента–приспособления–станка (ЗИПС).

Необходимое оборудование, оснастка, приборы и материалы

1. Токарно-винторезный станок модели 16K20Ф3 с ЧПУ фирмы «Siemens».
2. Патрон трехкулачковый.
3. Центр вращающийся.
4. Заготовки из стали 45.
5. Резцы проходные с пластинами твердого сплава T15K6.
6. Большой инструментальный микроскоп модели БМИ-1.
7. Микрометр МК-25, МК-50.
8. Ванна с водой.

Порядок выполнения работы

1. Установить и закрепить на токарном станке заготовку.
2. Опустить резец в ванну с водой и охладить его в течение 5 мин.
3. Измерить расстояние от выбранной измерительной базы до вершины резца на инструментальном микроскопе.
4. Установить и закрепить резец в резцедержателе так, чтобы его продольная ось была перпендикулярна оси вращения шпинделя станка.
5. Настроить станок на заданный режим резания:
 $v = 100$ м/мин; $S_o = 0,1 \dots 0,2$ мм/об; $t = 0,1 \dots 0,2$ мм.
6. Подсчитать время обработки при пути резания $L = 1000$ м по формуле

$$T = \frac{L}{v}.$$

7. Через T минут после начала работы отвести резец от заготовки и выключить станок, снять резец со станка, охладить и измерить на инструментальном микроскопе размерный износ как разность между предыдущим и текущим измерениями.

8. Измерить диаметр D_d в начале и в конце пути резания и сопоставить полученное значение с величиной размерного износа режущего инструмента.

9. Повторить пункты 4, 7, 8 до получения 5-ти экспериментальных значений.

10. Нанести точки с координатами L_i и u_i на график размерного износа от пути резания и обработать результаты эксперимента.

11. Определить разность действительного значения диаметра детали D_d и заданного D_z и сделать вывод о влиянии размерного износа лезвия инструмента на точность обработки.

12. Настроить станок на режим для исследования зависимости размерного износа от скорости резания: $v = 20$ м/мин; $S = 0,1 \dots 0,2$ мм/об; $t = 0,1 \dots 0,2$ мм.

13. Повторить пункты 2, 3, 4, 6, 7, 8.
14. Повторить пункты 12 и 13 при значениях скорости резания 50, 100, 150 м/мин.
15. Если путь резания выбран отличным от $L = 1000$ м, то подсчитать относительный износ:

$$u_o = \frac{u}{L},$$

где u_o – относительный износ, мкм/км;
 u – размерный износ на всем пути резания, мкм;
 L – путь резания, км.

16. Построить график зависимости размерного износа от скорости резания.
17. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Краткое описание цели и задач работы.
3. Краткое изложение методики проведения работы.
4. Сведения об обрабатываемом материале, режущем инструменте, оборудовании и приборах.
5. Результаты опытов и расчетов.
6. Графические зависимости $u = f(L)$ и $u = f(v)$.
7. Найденные величины u_0 , $u_{нач}$ и $L_{доп}$ и формула $u = A_0 + A_1 L$.
8. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Как графически изображаются зависимости размерного износа инструмента от пути и скорости резания?
2. Что называется начальным и относительным размерным износом?
3. Как влияет размерный износ инструмента на точность выполняемого размера и формы обрабатываемой поверхности?
4. Каким образом можно рассчитать ожидаемую погрешность обработки, вызванную размерным износом инструмента?
5. Каким образом можно измерить размерный износ резца?

14.5 Жесткость технологической системы и ее влияние на точность обработки

Цель работы – исследовать влияние жесткости технологической системы «заготовка – инструмент – приспособление – станок» (ЗИПС) на точность выполняемого размера и формы поверхностей детали при механической обработке.

Теоретические положения (см. раздел 9.1)

Методические указания

В технологии машиностроения существует ряд методов экспериментального определения жесткости системы и отдельных ее элементов. В настоящей лабораторной работе определение жесткости системы производится по способу изменения упругих отжатий при изменении глубины резания.

Сущность способа заключается в следующем. Заготовка, представляющая собой жесткий ступенчатый валик, устанавливается в трехкулачковом патроне токарного станка с поджатием задним центром (рисунок 14.9).

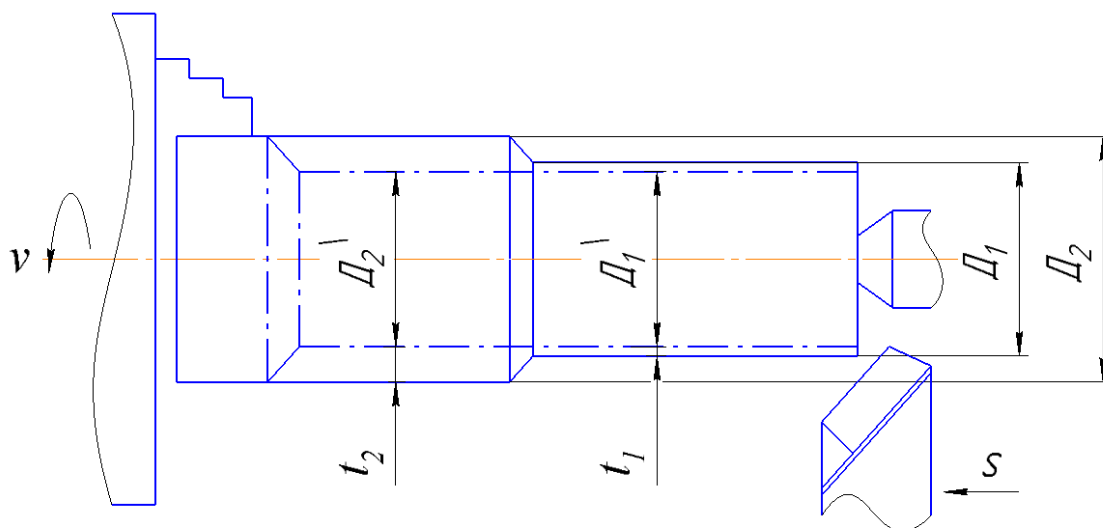


Рисунок 14.9. – Схема обработки ступенчатого вала для определения жесткости системы ЗИПС

Станок настраивается на заданный режим резания по меньшему диаметру заготовки. При точении с продольной подачей в месте перепада диаметра заготовки происходит изменение глубины резания, вследствие чего изменяется радиальная составляющая силы резания на величину ΔP_y .

и возрастают упругие отжата в системе ЗИПС на величину Δy . Для данного случая жесткость упругой системы может быть определена следующим образом:

$$j_c = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}. \quad (14.13)$$

Если считать, что составляющая силы резания P_y линейно зависит от глубины резания t , то изменение этой составляющей силы резания ΔP_y может быть определено по формуле

$$\Delta P_y = P_{y2} - P_{y1} = 9,81 C_P S_o^{0,75} (\lambda_2 t_2 - \lambda_1 t_1), \quad (14.14)$$

где P_{y2} и P_{y1} – радиальные составляющие сил резания при точении соответственно с глубинами резания t_2 и t_1 на большем и меньшем диаметрах обработки, Н;

C_P – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала и условий резания (таблица 14.8);

λ_2 и λ_1 – коэффициенты, характеризующие отношение P_{y2}/P_{z2} и P_{y1}/P_{z1} и зависящие от геометрии резца, состояния режущей кромки, режимов резания (соответственно при глубинах резания t_2 и t_1) и механических свойств обрабатываемого материала;

S_o – продольная подача на оборот, мм/об.

Таблица 14.8. – Значение коэффициента C_P при обработке конструкционных сталей

Предел прочности σ_s , МПа	Твердость		C_P
	HB	HRC или HRB	
		HRC	
350	103	55,2	144
450	133	73,5	155
550	163	83,5	165
650	190	90,6	180
750	220	96,6	193
		HRB	
850	250	22,1	205

При обработке конструкционной стали проходным резцом, оснащенной пластинкой твердого сплава Т15К6 (геометрия заточки – $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r = 1$ мм), некоторые значения коэффициента λ могут быть определены по таблице 14.9.

Таблица 14.9. – Значение коэффициента λ

Скорость резания v , м/мин	Глубина резания t , мм	Подача S_o , мм/об		
		0,15	0,20	0,25
60	0,5	0,730	0,69	0,67
	1,5	0,65	0,62	0,60
	2,0	0,63	0,60	0,58
	4,0	0,59	0,56	0,54
	0,5	0,70	0,67	0,64
80	1,5	0,62	0,59	0,57
	2,0	0,60	0,57	0,55
	4,0	0,57	0,54	0,52

Для удобства расчетов величины $S_o^{0,75}$ приведены в таблице 14.10.

Таблица 14.10. – Значение подачи в степени 0,75

Подача S_o , мм/об	0,15	0,16	0,175	0,19	0,20	0,25
$S_o^{0,75}$	0,2410	0,2530	0,2706	0,2878	0,2991	0,3536

При точении ступенчатой заготовки вала с диаметрами D_1 и D_2 изменение величины упругих отжатий определяется из соотношения

$$\Delta y = \frac{D_2^{\lambda} - D_1^{\lambda}}{2}, \quad (14.15)$$

где D_2^{λ} и D_1^{λ} – диаметры, полученные после точения соответственно на участках с большей и меньшей глубинами резания (см. рисунок 14.9).

Можно считать, что рассчитанная по формуле (14.13) жесткость системы ЗИПС относится к жесткости станка, т.е.

$$j_c = j_{ст}. \quad (14.16)$$

Податливость токарного станка может быть выражена через податливости отдельных его элементов следующим образом:

$$\omega_{ст} = \omega_{п.б.} + \omega_{з.б.} + \omega_{суп.}$$

или

$$\frac{1}{j_c} = \frac{1}{j_{п.б.}} + \frac{1}{j_{з.б.}} + \frac{1}{j_{суп.}} \quad (14.17)$$

где $\omega_{п.б.}$ и $j_{п.б.}$ – соответственно податливость и жесткость шпиндельного узла с передней бабкой;

$\omega_{з.б.}$ и $j_{з.б.}$ – соответственно податливость и жесткость задней бабки;

$\omega_{суп.}$ и $j_{суп.}$ – соответственно податливость и жесткость суппорта.

Из опыта промышленной эксплуатации токарных станков известно, что $j_{п.б.} : j_{з.б.} : j_{суп.} \approx 1 : 0,6 : 0,8$.

Учитывая эти соотношения, из формулы (14.17) можно получить

$$\left. \begin{aligned} \omega_{п.б.} &= 0,2553\omega_{ст} \\ \omega_{з.б.} &= 0,4255\omega_{ст} \\ \omega_{суп.} &= 0,3192\omega_{ст} \end{aligned} \right\}. \quad (14.18)$$

В процессе точения длинного вала при его закреплении в трехкулачковом патроне с поджатием задним центром (рисунок 14.10) вследствие упругих деформаций в системе ЗИПС возникают погрешности в получении диаметрального размера и формы в продольном сечении вала.

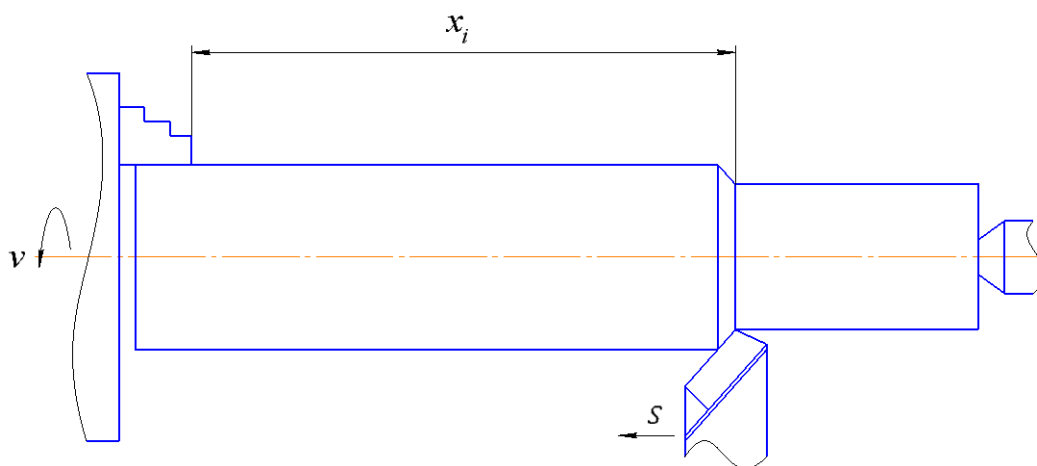


Рисунок 14.10. – Схема обработки длинного вала при его установке в трехкулачковом патроне с поджатием задним центром

Деформации Δy в системе на расстоянии x , от торцов кулачков вдоль силы P_y могут быть определены из следующего общего выражения:

$$\Delta y = y_{п.б.} \left(\frac{l - x_i}{l} \right)^2 + y_{з.б.} \left(\frac{x_i}{l} \right)^2 + y_{суп.} + y_{з.} \quad (14.19)$$

где $y_{п.б.}$ – деформация передней бабки;
 $y_{з.б.}$ – деформация задней бабки;
 $y_{суп.}$ – деформация суппорта;
 $y_{з.}$ – деформация вала в месте приложения силы;
 l – длина вала от торцов кулачков до заднего центра;
 x_i – расстояние от торцов кулачков до вершины режущей кромки резца.

Расчетная схема для определения упругих деформаций вала может быть представлена в виде упругой балки, защемленной одним концом, а другим концом опирающейся на шарнирную опору (рисунок 14.11, а).

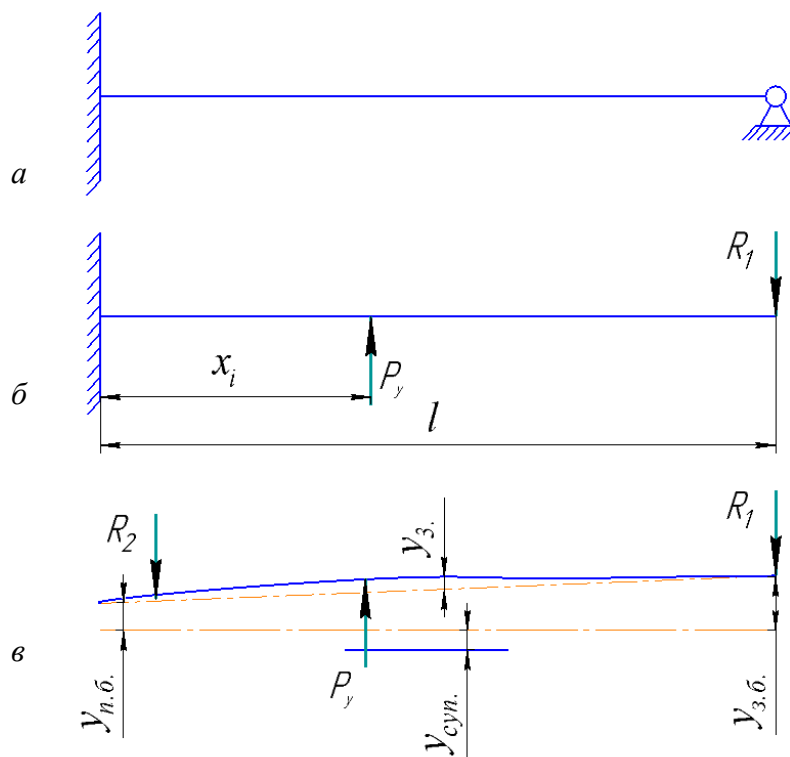


Рисунок 14.11. – Расчетная схема для определения упругих перемещений в системе ЗИПС

Данный случай соответствует расчетной схеме для статически неопределимой балки. С использованием теории механики материалов для определения реакций в статически неопределимых системах определяется радиальная реакция со стороны заднего центра на вал по формуле

$$R_i = \frac{P_y x_i^2 (3l - x_i)}{2l^3}. \quad (14.20)$$

После этого рассматривается вал как консольно закрепленный в трехкулачковом патроне и находящийся под действием постоянной по величине, но изменяющей точку приложения силы P_y и изменяющейся по величине силы R_1 (рисунок 14.11, б). Прогиб оси вала в месте приложения силы P_y на расстоянии x , от кулачков патрона:

$$y_{3.} = \frac{P_y x_i^3}{3EJ} + \frac{R_1 l x_i^2}{2EJ} + \frac{R_1 x_i^3}{6EJ}. \quad (14.21)$$

После подстановки R_1 через P_y и преобразований формула для определения прогиба вала в месте приложения силы P_y при его закреплении в трех-кулачковом патроне с поджатием задним центром имеет следующий вид:

$$y_{з.} = \frac{P_y x_i^3 [4l - x_i(3l - x_i)^2]}{12EJl^3}, \quad (14.22)$$

где E – модуль упругости вала;

J – момент инерции сечения вала.

Деформации узлов станка (рис. 14.11, в) можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} y_{\text{суп.}} = \omega_{\text{суп.}} P_y \\ y_{з.б.} = \omega_{з.б.} R_1 = \omega_{з.б.} \frac{P_y x_i^2 (3l - x_i)}{2l^3} \\ y_{п.б.} = \omega_{п.б.} R_2 = \omega_{п.б.} (P_y - R_1) = \omega_{п.б.} \left[P_y - \frac{P_y x_i^2 (3l - x_i)}{2l^3} \right]. \end{cases} \quad (14.23)$$

Выразив расстояние x_i в долях длины вала (т.е. $x_i = a_i l$ или $a_i = x_i / l$) и подставив соотношения (14.22) и (14.23) в формулу (14.19), после преобразований развернутое выражение для определения деформации в системе ЗИПС имеет вид

$$\Delta y = P_y \left\{ \omega_{п.б.} + \omega_{\text{суп.}} + \alpha_i^3 \frac{l^3}{3EJ} + \frac{\alpha_i^2 (3 - \alpha_i)}{2} \left[\omega_{з.б.} - \omega_{п.б.} - \frac{l^3 \alpha_i^2 (3 - \alpha_i)}{6EJ} \right] \right\} \quad (14.24)$$

Обозначив $\frac{\alpha_i^2 (3 - \alpha_i)}{2} = K_i$, и с учетом соотношений (14.18) выражение (14.24) может быть преобразовано в более удобное для расчетов:

$$\Delta y = P_y \left[0,5745 \omega_{\text{ст.}} + \alpha_i^3 \frac{l^3}{3EJ} + K_i \left(0,1702 \omega_{\text{ст.}} - K_i \frac{l^3}{3EJ} \right) \right]. \quad (14.25)$$

С учетом модуля упругости для стали $E = 2,110^{11}$ Па и момента инерции сечения круглого вала $J = \pi d^4 / 64$ мм, расчетная формула имеет окончательный вид

$$\Delta y = P_y \left[0,5745 \omega_{cm.} + \alpha_i^3 \frac{l^3}{3EJ} + K_i \left(0,1702 \omega_{cm.} - K_i \frac{l^3}{31,5d^4} \right) \right], \quad (14.26)$$

где Δy – упругие перемещения в системе ЗИПС, мкм;

P_y – радиальная составляющая силы резания, Н;

$\omega_{ст.}$ – податливость станка, мкм/Н;

l – длина вала до кулачков патрона, мм;

d – диаметр вала после точения, мм.

С целью сокращения времени расчетов в таблице 14.11 приведены значения коэффициента K_i , соответствующие значениям α_i .

Таблица 14.11. – Значение коэффициента K_i

α_i	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
K_i	0,0145	0,0321	0,0560	0,0859	0,1215	0,1623	0,2080	0,2582	0,3125

α_i	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
K_i	0,3706	0,4320	0,4964	0,5635	0,6328	0,7040	0,7767	0,8505	0,9251

Необходимое оборудование, оснастка, приборы и материалы

1. Токарно-винторезный станок модели 16К20Ф3 с ЧПУ фирмы «Siemens».
2. Патрон трехкулачковый самоцентрирующий универсальный.
3. Центр задний.
4. Резец проходной, оснащенный пластинкой твердого сплава Т15К6 (геометрия заточки – $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 10^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $r = 1$ мм).
5. Микрометры 25...50 и 50...70 мм.
6. Заготовки ступенчатого и гладкого валов из стали 45 или из стали 40Х.

Порядок выполнения работы

1. Измерить диаметры D_1 и D_2 ступенчатой заготовки, установить заготовку на станке и резец в резцедержателе.
2. Настроить станок на следующий режим обработки:
 $v = 60 \dots 80$ м/мин;
 $S_o = 0,15 \dots 0,25$ мм/об;
 $t = 1$ мм.
3. Проточить ступенчатый валик при врезании в ступень большого диаметра на длину не менее 15 мм.
4. Измерить диаметры ступеней D_2^1 и D_1^1 , полученные после точения (см. рис.14.13), и подсчитать величину упругих отжатий по формуле (14.34).

5. Подсчитать по формуле (14.33) с учетом значений таблиц 14.8–14.10 изменение радиальной составляющей силы резания.

6. По формуле (14.32) подсчитать жесткость системы и по формуле (14.30) – ее податливость.

7. По формуле (14.45) и с учетом таблицы 14.11 подсчитать упругие перемещения в системе ЗИПС в пяти поперечных сечениях гладкого вала, предварительно рассчитав радиальную составляющую силы резания по формуле

$$P_y = 9,81\lambda C_P S_o^{0,75} t.$$

8. Настроить станок на следующий режим обработки гладкого вала:

$v = 60 \dots 80$ м/мин;

$S_o = 0,15 \dots 0,25$ мм/об;

$t = 1$ мм.

9. Установить заготовку гладкого вала на станке и проточить.

10. Измерить вал в пяти поперечных сечениях, нарисовать эскиз формы образующей вала, отметить на нем фактические и расчетные погрешности.

Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Содержание задания.
3. Эскиз обработки ступенчатого и гладкого валов.
4. Режим обработки и исходные данные для расчетов.
5. Результаты измерений, расчеты жесткости и податливости станка, упругих перемещений в системе ЗИПС.
6. Эскиз формы образующей гладкого вала.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется жесткостью и податливостью технологической системы?
2. В чем состоит сущность динамического (производственного) метода определения жесткости станка?
3. Как влияет жесткость системы ЗИПС на точность обработки?
4. Как рассчитать упругие перемещения в системе ЗИПС в различных сечениях вала?

14.6 Настройка металлорежущих станков на выполнение технологических операций

Цель работы – практическое освоение методов настройки металлорежущих станков на выполнение технологической операции.

Теоретические положения (см. раздел 8)

Методические указания

Настройка металлорежущих станков в данной работе проводится по пробным деталям с помощью установочного калибра и универсального измерительного инструмента.

При настройке с помощью установочного калибра поле рассеяния выполняемого размера детали из-за случайно действующих факторов определяется по формуле

$$\omega_M = 1,2 \sqrt{\omega_{\text{незав.}}^2 + \omega_{\text{нагр.}}^2},$$

где $\omega_{\text{незав.}}$ – слагаемая мгновенного поля рассеяния размеров, не зависящая от нагрузки (таблица 14.12);

$\omega_{\text{нагр.}}$ – слагаемая мгновенного поля рассеяния размеров, зависящая от нагрузки (таблица 14.13).

Таблица 14.12. – Данные слагаемой мгновенного поля рассеяния размеров, не зависящей от нагрузки

D, мм	10...8	18...30	30...50
$\omega_{\text{незав.}}$, МКМ	11	14	18

Таблица 14.13. – Данные слагаемой мгновенного поля рассеяния размеров, зависящей от нагрузки

Жесткость станка Н/м	Подача S, мм/об	Рассеяние размеров заготовки, мм					
		2,0	1,5	1,0	0,5	0,25	0,1
		$\omega_{\text{нагр.}}$, МКМ					
20	0,1	20	15	10	5	2	1
	0,2	34	25	17	9	4	2
	0,3	46	35	23	12	6	3
	0,5	68	51	34	17	9	3
30	0,1	14	10	7	3	2	1
	0,2	23	17	11	6	3	1
	0,3	31	23	16	8	4	2
	0,5	45	34	23	11	6	2

Среднее квадратичное отклонение аргумента рассчитывается по формуле

$$\sigma = \frac{\omega_M}{6}.$$

Настроечный размер калибра определяется следующим образом:

$$D_H^{\text{расч.}} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} - \Delta_{\text{попр.}}.$$

Номинальный размер и допуск на размер, которые необходимо получить в результате обработки, задается.

Определить поправку, учитывающий деформацию в упругой технологической системе и шероховатость поверхности эталонной детали, по которой производится настройка:

$$\Delta_{\text{попр}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3,$$

где $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$ – составляющие поправки, учитывающие соответственно упругие отжатия под действием силы резания, образующиеся в результате обработки шероховатости поверхности детали и величину зазора в подшипниках шпинделя.

При этом можно принять $\Delta_1 = \omega_{\text{нагр.}}$ (см. таблицу. 14.13), $\Delta_2 = 2Rz$ (Rz – высота неровностей по чертежу детали), $\Delta_3 = 0,004$ мм.

При настройке с помощью универсального измерительного инструмента определяются:

– минимальное значение группового среднего размера

$$D_{\min}^{\text{гр.ср.}} = D_{\min} + 3\sigma(1 + 1/\sqrt{m}),$$

где $m = 4$ – количество деталей в группе, используемой для настройки, шт;

D_{\min} – минимальный номинальный размер, который необходимо получить в результате обработки, мм.

– допуск настройки

$$T_H = T - 6\sigma(1 + 1/\sqrt{m}) - v;$$

где T – допуск на номинальный размер, мм;

$v \approx 3\sigma$ – величина, предназначенная для компенсации погрешностей, порождаемых совокупным действием систематически действующих факторов.

– максимальное значение группового среднего размера

$$D_{\max}^{\text{гр.ср.}} = D_{\min}^{\text{гр.ср.}} + T_H.$$

Необходимое оборудование, оснастка, приборы и материалы

1. Токарно-винторезный станок модели 16К20.
2. Патрон трехкулачковый.
3. Резцы токарные проходные с пластинками твердого сплава Т15К6.
4. Калибры деталей для настройки.
5. Микрометры: МК-25, МК-50.
6. Партии деталей для обработки.
7. Щуп.

Порядок выполнения работы

Настройка по пробным деталям с помощью установочного калибра

1. Измерить партию деталей и определить поле рассеяния размеров деталей перед обработкой.
2. Определить возможное поле рассеяния выполняемого размера ϕ_M из-за случайно действующих факторов.
3. Определить расчетный настроечный размер калибра.
4. Установить калибр в трехкулачковый патрон и резец в резцедержатель. Настроить по калибру и щупу резец на размер.
5. Настроить станок на заданный преподавателем режим и проточить группу из 4-х пробных деталей.
6. Измерить полученные размеры и определить средний групповой размер $D_{гр.ср.}$.
7. Проверить, находится ли полученный размер $D_{гр.ср.}$ в пределах

$$\frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} \pm 6\sigma.$$

Если средний групповой размер находится в указанных пределах, настройка выполнена верно.

Если средний групповой размер выходит за указанные пределы, необходимо выполнить поднастройку, проточить следующие 4 детали и убедиться, что их средний групповой размер находится в указанных пределах.

Настройка по пробным деталям с помощью универсального измерительного инструмента

1. Повторить п. 1 и 2 при настройке по пробным деталям с помощью установочного калибра. Номинальный размер и допуск на размер, задаются.
2. Определить минимальное значение группового среднего размера.

3. Вычислить минимально необходимый для условий данной операции допуск настройки.

4. Определить максимальное значение $D_{\max}^{\text{гр.ср.}}$ группового среднего размера.

5. Установить резец в резцедержатель и деталь в трехкулачковый патрон, значения частоты вращения шпинделя и подачи. Настроить методом пробных рабочих ходов резец на выполнение размера

$$D_{\text{расч.}}^{\text{гр.ср.}} \pm 0,5T_n.$$

6. Проточить 4 пробные детали, измерить полученные размеры и определить средний групповой размер.

7. Проверить, находится ли полученный размер $D^{\text{гр.ср.}}$ в пределах:

$$D_{\text{расч.}}^{\text{гр.ср.}} \pm 0,5T_n$$

Если средний групповой размер находится в указанных пределах, настройка выполнена верно.

Если средний групповой размер выходит за указанные пределы, необходимо выполнить поднастройку, проточить следующие 4 детали и убедиться, что их средний групповой размер находится в пределах допуска на настройку T_n .

Содержание отчета

1. Наименование работы.

2. Сведения об оборудовании и инструменте.

3. Операционный эскиз обработки.

4. Результаты измерений деталей перед обработкой.

5. Результаты расчетов $\omega_b, \sigma, D_n^{\text{расч.}}$; измерений и расчетов $D^{\text{гр.ср.}}$, $(D_{\max} + D_{\min}) / 2 \pm 3\sigma$ при настройке по пробным деталям с помощью установочного калибра; выводы.

6. Результаты расчетов $\omega_b, \sigma, D_{\min}^{\text{гр.ср.}}, T_n, D_{\max}^{\text{гр.ср.}}, D_{\text{расч.}}^{\text{гр.ср.}} \pm 0,5T_n$; измерений и расчетов $D^{\text{гр.ср.}}$ с указанием этих величин на схеме настройки с учетом переменных систематических погрешностей по пробным деталям с помощью универсального измерительного инструмента (см. рисунок 8.5).

7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется наладкой (настройкой) станка?
2. Какие существуют методы настройки?
3. В чем заключается метод статистической настройки, его преимущества и сферы применения?
4. В чем заключается метод настройки по пробным деталям с помощью рабочего калибра, его преимущества и сфера применения.
5. В чем заключается метод настройки по пробным деталям с помощью измерительного инструмента, его преимущества и сфера применения?
6. Какой из методов настройки позволяет учесть влияние систематических закономерно изменяющихся погрешностей на точность обработки.

15 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

15.1 Базирование заготовок при выполнении технологического процесса изготовления детали

Цель занятия – изучение теории базирования и приобретение практических навыков разработки теоретических схем базирования заготовок и изделий в машиностроении.

Теоретические положения (см. раздел 1.2)

Методические указания

Содержание занятия включает в себя решение двух типов задач:

1) разработать теоретическую схему базирования, обеспечивающую получение указанных на операционном эскизе заготовки линейных и угловых размеров наикратчайшим путем. Изобразить систему координат, которая при этом связывается с заготовкой. На координатных осях отметить стрелками, каких технологических баз и каких степеней свободы лишают заготовку. Охарактеризовать комплект технологических баз по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления;

2) по данной схеме установки заготовки в приспособлении изобразить теоретическую схему базирования в системе координат, которая при этом связывается с заготовкой. На координатных осях отметить стрелками, какие технологические базы каких степеней свободы лишают заготовку. Охарактеризовать комплект технологических баз по лишаемым степеням свободы и по характеру проявления.

При решении задач первого типа для того, чтобы разработать теоретическую схему базирования, обеспечивающую получение размеров прямым путем, необходимо по каждому из указанных на эскизе требований выявить измерительные базы и принять их в качестве технологических. Далее необходимо установить по каждому из точностных требований, сколько степеней свободы и каких именно нужно лишить заготовку, чтобы эти требования были обеспечены прямым путем. Начиная с точностного требования, при обеспечении которого необходимо лишить заготовку наибольшего числа степеней свободы, и далее по степени убывания их числа расставить на эскизе заготовки шесть опорных точек.

При решении задач второго типа необходимо на эскизе установки заготовки указать в трех взаимно перпендикулярных плоскостях установочные

элементы приспособления. Уяснить, какие установочные элементы приспособления и их сочетания, каких степеней свобод лишают заготовку, и в соответствии с этим на эскизе заготовки расставить шесть опорных точек.

Пример. Необходимо решить задачи первого и второго типов, условия которых проиллюстрированы соответственно на рисунках 15.1 и 15.2 и заключаются в обработке с применением кондуктора отверстий d_1 и d_2 во втулках рычага, обеспечивающего выполнение перпендикулярности осей отверстий к плоскости A , симметричности отверстий относительно плоскости симметрии втулок X и соосность отверстия d_1 относительно наружной поверхности втулки D_1 .

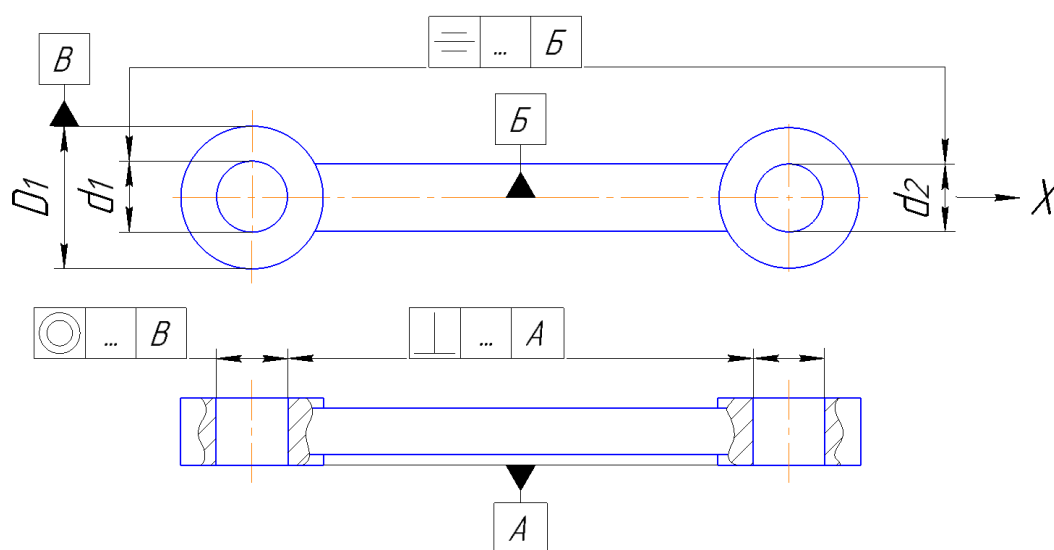


Рисунок 15.1. – Исходные данные к задаче первого типа

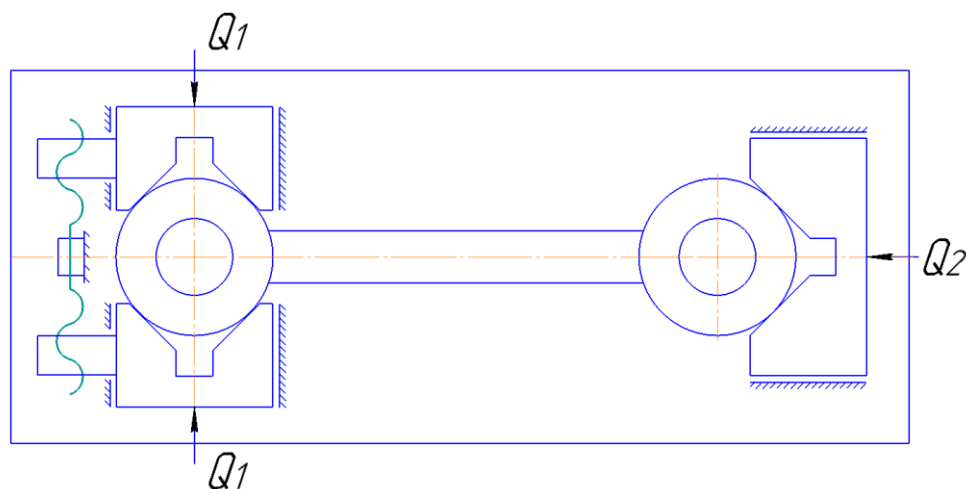


Рисунок 15.2. – Исходные данные к задаче второго типа

В данном случае обе задачи имеют одно и то же решение, приведенное на рисунке 15.3. Комплект технологических баз состоит из:

- установочной явной базы (опорной точки 1, 2 и 3), в которой опорная точка 1 исключает перемещения вдоль оси Z , опорная точка 2 – поворот вокруг оси X и опорная точка 3 – поворот вокруг Y ;
- направляющей скрытой базы (опорные точки 4 и 5), в которой опорная точка 4 исключает перемещения вдоль оси Y , а опорная точка 5 – поворот вокруг оси Z ;
- опорной базы (опорная точка 6), в которой опорная точка 6 исключает перемещения вдоль оси X .

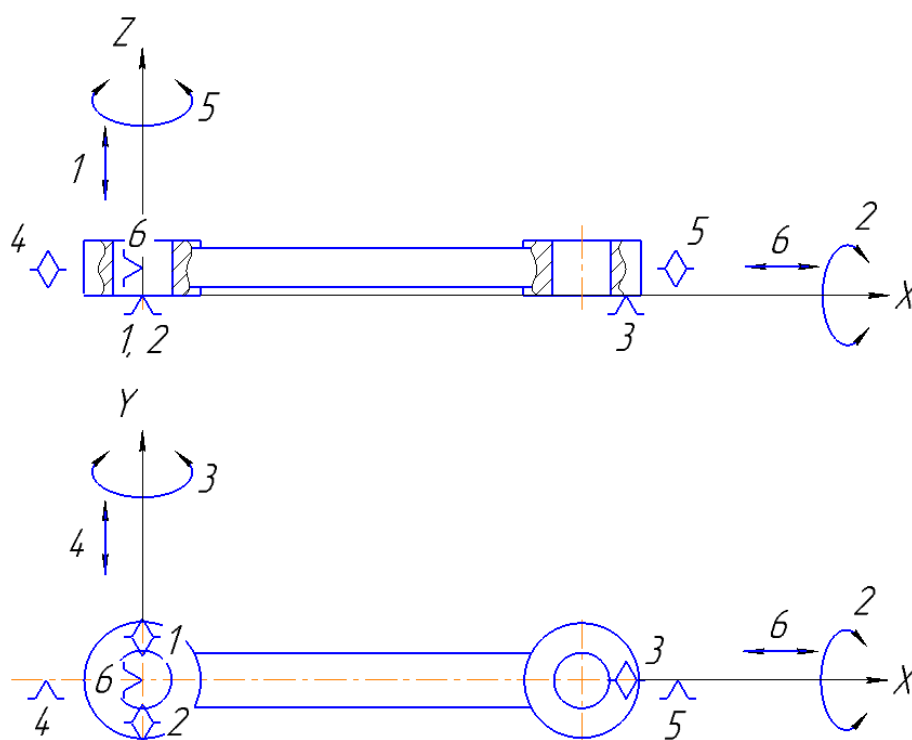


Рисунок 15.3. – Эскиз к решению задач первого и второго типов

Индивидуальное задание и порядок его выполнения

В качестве заданий для практического занятия могут быть использованы условия задач, представленные в приложениях А и Б.

При решении задач первого типа необходимо:

- 1) ознакомиться по эскизу с точностными требованиями, которые необходимо обеспечить прямым путем, и выявить измерительные базы;
- 2) совмещая технологические базы с измерительными, разработать теоретическую схему базирования заготовки;

3) обозначить на схеме базирования систему координат, которая при этом связывается с заготовкой;

4) охарактеризовать комплект технологических баз по исключаемым степеням свободы и по характеру проявления;

5) обозначить стрелками на координатных осях, какие из баз каких степеней свободы исключают у заготовки.

При решении задач второго типа необходимо:

1) по схеме установки заготовки в приспособлении определить, какие из установочных элементов приспособления и их сочетания каких степеней свободы исключают у заготовки;

2) изобразить теоретическую схему базирования заготовки, реализуемую в данном приспособлении;

3) повторить п.п. 3–5 при решении задач первого типа.

15.2 Выбор комплекта единых технологических баз и оптимальной схемы базирования на первой операции механической обработки

Цель занятия – приобретение практических навыков в выборе КЕТБ и оптимальной схемы базирования заготовки на первой операции механической обработки технологического процесса изготовления детали.

Теоретические положения (см. раздел 5)

Методические указания

Содержание занятия включает следующие этапы:

1. Выполнение анализа требований, предъявляемых к точности относительного положения конструктивных элементов заданной детали, выявление конструктивных элементов, относительно которых задано и наиболее строго установлено положение большинства других конструктивных элементов детали.

2. Установление комплекта (комплектов) единых технологических баз.

3. Разработка возможных вариантов схем базирования заготовки на первой операции механической обработки.

4. В зависимости от поставленной задачи выполнение анализа различных вариантов базирования заготовки и выбор из них наиболее предпочтительного.

Чертежи сложных корпусных деталей, как правило, имеют большой формат, значительное число видов, разрезов, сечений и множество размерных связей между конструктивными элементами. При этом затруднен анализ чертежа с целью выбора комплекта единых технологических баз.

Значительное сокращение трудоемкости данной работы может быть достигнуто при анализе размерных связей между конструктивными элементами детали с использованием ее модели в виде графа размерных связей.

Суть данной методики можно пояснить на следующем примере. Необходимо определить комплект единых технологических баз при изготовлении детали, эскиз которой приведен на рисунке 15.4.

Для построения модели чертежа детали в виде графа размерных связей на проекциях чертежа детали проводят оси системы координат, произвольно связанной с деталью (чаще всего по плоскостям и осям симметрии, по другим характерным для детали линиям и плоскостям), нумеруют все поверхности и другие ее конструктивные элементы (см. рисунок 15.4).

Модель представляет собой последовательное или параллельное изображение координатных осей с нанесенными на них номерами (верши-

Technical drawing of a mechanical part, showing three views: front view, top view, and side view. The drawing includes dimensions, tolerances, and material specifications.

Front View (Top Left): Shows the main profile of the part. Key dimensions include a total width of 310, a total height of 120, and a central width of 210. The part features a central rectangular cutout with a width of 150 and a height of 45. There are several holes and features labeled with numbers 1 through 15. A section line A-A is indicated.

Top View (Bottom Left): Shows the plan view of the part. Key dimensions include a total width of 220 and a total height of 200. The part features a central rectangular cutout with a width of 140 and a height of 120. There are four holes in the corners, each with a diameter of $\phi 90$. A section line A-A is indicated.

Side View (Bottom Right): Shows the profile of the part from the side. Key dimensions include a total width of 220, a total height of 120, and a central width of 140. The part features a central rectangular cutout with a width of 140 and a height of 120. There are four holes in the corners, each with a diameter of $\phi 90$. A section line A-A is indicated.

Top View (Top Right): Shows the plan view of the part with a central circular feature. Key dimensions include a total width of 280 and a total height of 280. The part features a central circular feature with a diameter of $\phi 75 \pm 0.1$ and four corner holes with a diameter of $\phi 18$. The corner holes are spaced 180 units apart. The part also features a central rectangular cutout with a width of 180 and a height of 180. A section line A-A is indicated.

————— – линейные размеры; — — — — — – угловые размеры

Данная модель удобна тем, что позволяет одновременно проанализировать все размерные связи детали. Как видно из рисунка 15.5, вдоль координатной оси X наибольшим числом размерных связей обладает ось 811 отверстия диаметром 90 мм (см. рисунок 15.4), но это в основном связи между осями поверхностей вращения, расположенные на одной номинальной оси, которые могут быть обработаны за одну установку. Пять размерных связей имеет плоскость симметрии 18 и четыре связи – плоскость симметрии 22. Учитывая приоритетность связей, удобство использования для базирования и то, что плоскость симметрии 22 имеет достаточно точные связи с плоскостью симметрии 18 и осью 811, очевидно, что именно ее предпочтительно использовать в качестве технологической базы. Вдоль оси Y наибольшим числом связей обладает поверхность 1 и вдоль оси Z – плоскость 24, которые являются достаточно удобными для базирования.

Следовательно, при осуществлении основных операций технологического процесса в качестве КЕТБ целесообразно принять: плоскость 24 – установочная явная база, плоскость симметрии 22 – направляющая скрытая база и торец 1 – явная опорная база.

Приему, используемому при анализе вариантов базирования заготовки на первой (первых) операции технологического процесса, где обрабатываются поверхности, входящие в КЕТБ, может быть дано следующее общее пояснение. Анализ вариантов базирования заготовки проводится с помощью технологических размерных цепей, вскрывающих связь операций в формировании точности образующегося размера детали.

Выявление такого рода размерных цепей рекомендуется начинать с операции, на которой завершается решение рассматриваемой задачи. При этом может оказаться, что:

а) задача обеспечения точности размера решается в пределах этой операции (в тех случаях, когда в качестве одной из технологических баз используется поверхность, от которой задан размер), в таком случае точность выдерживаемого размера достигается с помощью размерной цепи системы ЗИПС этой операции;

б) выдерживаемый размер будет являться замыкающим звеном размерной цепи (чаще трехзвенной), в которой одним из составляющих звеньев является расстояние (поворот) между конечным положением режущего инструмента и технологической базой заготовки, а другим составляющим звеном – размер, получаемый на одной из предшествующих операций.

При выполнении размера как замыкающего звена размерной цепи, возникающей на предшествующей операции, можно встретить случай (а),

либо случай (б). Рассмотрение размерных связей завершается операцией, на которой операционный размер получается как замыкающее звено системы ЗИПС.

Необходимо иметь в виду, что в технологических операционных размерных цепях размеры обрабатываемых поверхностей детали, которые в технологической документации предписаны к обязательному исполнению в пределах заданных допусков, являются составляющими звеньями размерной цепи, а размер, получаемый в результате выполнения составляющих звеньев, является замыкающим звеном размерной цепи. Если операционный припуск снимается с поверхности, не являющейся технологической базой на данной операции, он будет замыкающим звеном в данной операционной размерной цепи. Если припуск снимается с поверхности, являющейся технологической базой, он будет составляющим звеном размерной цепи.

При проведении анализа базирования заготовки на первой операции необходимо учитывать, что варианта, дающего наилучшее решение одновременно всех задач, не существует. Так, в одном варианте более удачно решаются одни задачи, но менее удачно – другие. Во втором, третьем и т.д. вариантах будут получены совсем другие результаты. Это вынуждает рассмотреть в каждом из вариантов базирования возможно большее количество задач и найти им всем наиболее приемлемое решение.

В качестве примера далее приведены задачи, требующие проведения анализа базирования с помощью технологических размерных цепей, построение которых осуществлено в соответствии с данными ранее рекомендациями.

Задача 1. При растачивании отверстий 90 и 85 необходимо обеспечить равномерность припуска в направлении оси Z (см. рисунок 15.4).

Неравномерность припуска обнаружится на операции растачивания отверстий. При избранной схеме базирования заготовки на расточной операции неравномерность распределения припуска по поверхностям проявится как относительное смещение оси отверстия на чертеже детали и оси расточенного отверстия. При рассмотрении решения задачи в вертикальной плоскости указанное смещение может быть представлено замыкающим звеном A_{Δ} размерной цепи A (рисунок 15.6, a), составляющими звеньями которой будут: A_1 – расстояние между осью отверстия в детали и установочной технологической базой заготовки и A_2 – расстояние между осью обработанной поверхности отверстия и технологической базой. Точность расстояния A_2 будет целиком зависеть от расточной операции. Расстояние A_1 определится на первой операции технологического процесса. При обработке поверхности 24 могут быть различные варианты базирования заготовки.

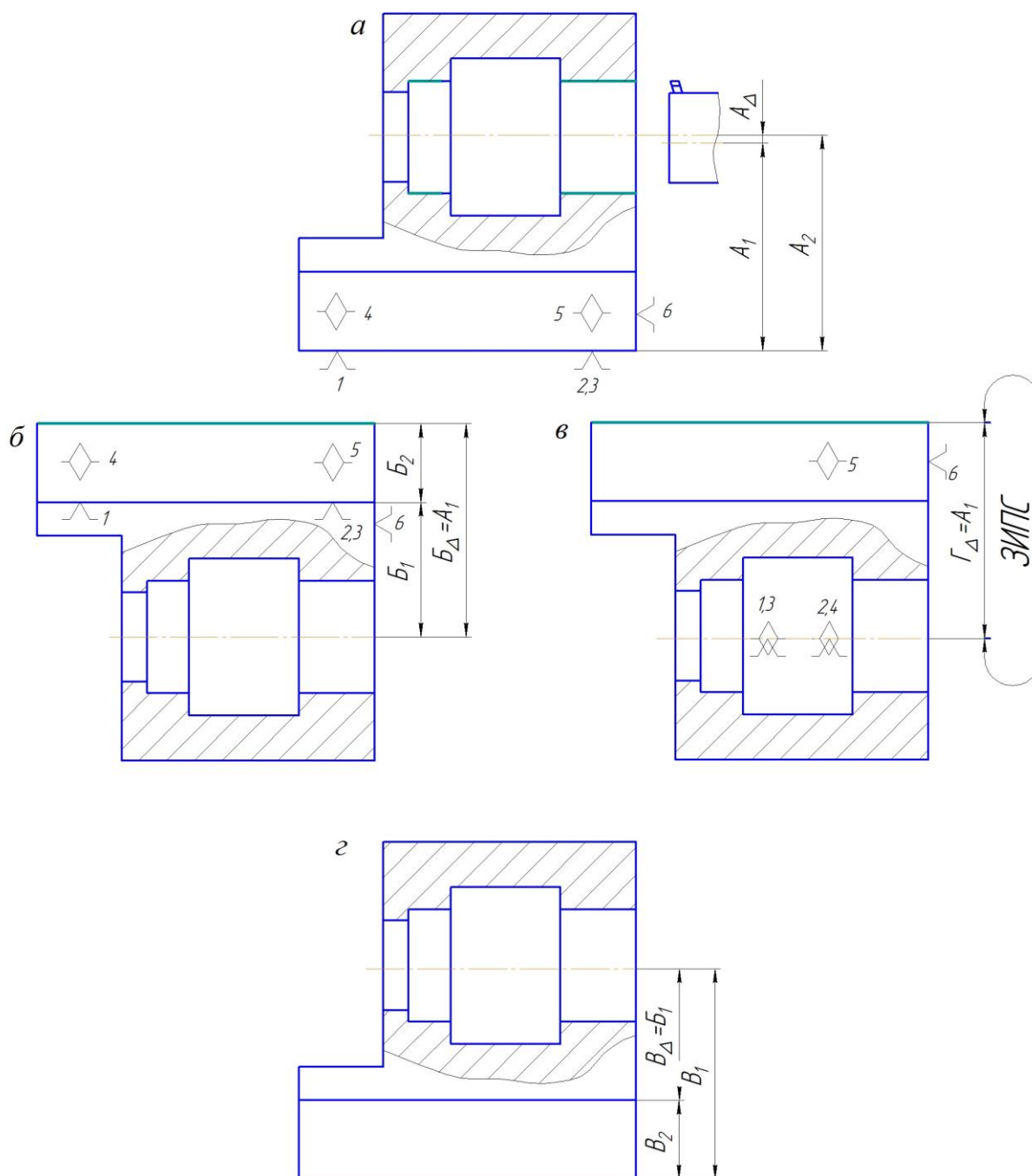


Рисунок 15.6. – Схемы базирования и эскиз заготовки:
***a* – расточная операция; *б, в* – варианты базирования на первой операции;**
***г* – заготовка**

По первому варианту (рис. 15.6, *б*) в качестве установочной базы может быть выбрана поверхность полук, а в качестве направляющей и опорной технологических баз – боковые поверхности детали. При такой схеме базирования на первой операции расстояние A_1 будет получаться как замыкающее звено B_Δ трехзвенной размерной цепи B . Составляющее звено B_2 – это размер, выдерживаемый при обработке поверхности детали на

настроенном станке, а размер B_1 – размер, принадлежащий исходной заготовки. Если размеры заготовки будут представлены и выдержаны в процессе ее получения так, как показано на рис. 15.6, *з*, то размер B_1 представляет собой замыкающее звено B_Δ размерной цепи и его погрешность ω_{B_1} – замыкающее звено ω_{B_Δ} , представляющая собой сумму погрешностей составляющих звеньев B_1 и B_2 :

$$\omega_B = \omega_{B_\Delta} = \omega_{B_1} + \omega_{B_2}.$$

В соответствии с выявленной схемой образования погрешности ω_{A_Δ} в первом варианте базирования заготовки на первой операции

$$\omega_{A_\Delta} = \omega_{A_2} + \omega_{A_1} = \omega_{A_2} + \omega_{B_2} + \omega_{B_1} = \omega_{A_2} + \omega_{B_2} + \omega_{B_1} + \omega_{B_2}.$$

Численные значения возможных погрешностей могут быть найдены с помощью нормативов средней экономической точности различных способов обработки и допусков на размеры исходной заготовки при условии, что отливка будет выполнена по 2-у классу точности

$$\omega_{A_\Delta} = 0,1 + 0,3 + 1,2 + 0,8 = 2,4 \text{ мм}.$$

Во втором варианте может быть выбрана схема базирования заготовки на первой операции (рис. 15.6, *в*), общая ось отверстий 90 и 85 является двойной направляющей базой, а опорными базами – плоскость симметрии наружного контура и один из торцов. В этом случае расстояние A_1 будет рассматриваться как замыкающее звено Γ_Δ размерной цепи системы ЗИПС, на которой будет выполняться первая операция, и

$$\omega_{A_\Delta} = \omega_{A_2} + \omega_{A_1} = \omega_{A_2} + \omega_{\Gamma_\Delta} = 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ мм}.$$

Следовательно, второй вариант базирования заготовки на первой операции можно считать более удачным решением поставленной задачи – обеспечения равномерного распределения припусков по растачиваемым поверхностям отверстия.

Задача 2. При растачивании отверстий 90 и 85 необходимо обеспечить равномерное распределение припусков по поверхности в направлении оси X (см. рисунок 15.4).

В избранной схеме базирования заготовки на расточной операции неравномерность распределения припуска проявится как относительное смещение оси отверстия в детали до растачивания и оси расточенного отверстия.

При рассмотрении решения этой задачи в горизонтальной плоскости указанное смещение может быть представлено замыкающим звеном Δ_Δ – расстояние между осью отверстия до растачивания и направляющей тех-

нологической базой заготовки D_2 – расстояние между осью расточенного отверстия и той же направляющей базой (рисунок 15.7). Точность расстояния D_2 будет целиком зависеть от расточной операции. Расстояние D_1 будет получено на первой операции и его точность будет зависеть от принятой схемы базирования при обработке боковых поверхностей полков.

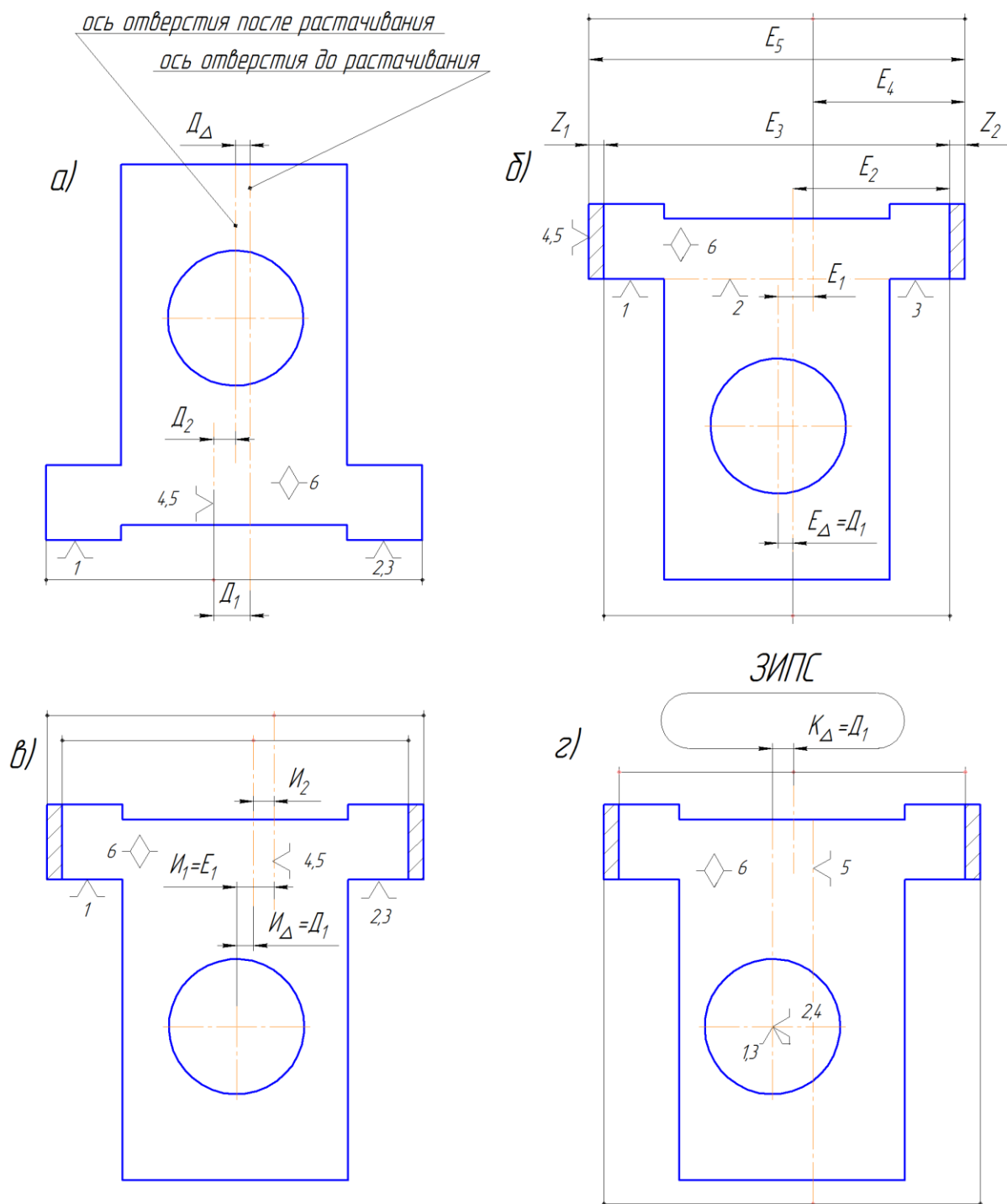


Рисунок 15.7. – Схемы базирования заготовки:
а – расточная операция; б, в, г – варианты базирования на первой операции

Исходя из первого варианта (рисунок 15.7, б) в качестве установочной базы может быть выбрана верхняя поверхность полков, в качестве направляющей базы – одна из боковых поверхностей полков и в качестве опорной базы – одна из торцов. При такой схеме базирования на первой операции расстояние D_1 будет получено как замыкающее звено E_Δ пятизвенной размерной цепи, составляющими звеньями которой будут E_1 , E_2 , E_4 и Z_2 . Припуск Z_2 в свою очередь будет замыкающим звеном другой четырехзвенной размерной цепи, к составляющим звеньям которой относятся E_3 , E_5 и Z_1 .

$$\omega_{D_1} = \omega_{E_\Delta} = \omega_{E_1} + \omega_{E_2} + \omega_{E_3} + \omega_{E_4} + \omega_{E_5} + \omega_{Z_1}.$$

Во втором варианте может быть избрана схема базирования заготовки на первой операции, показанная на рисунке 15.7, в. Технологической базой, определяющей точность получения размера D_1 , является плоскость симметрии расположения боковых поверхностей полков у исходной заготовки. Расстояние D_1 будет получаться как замыкающее звено I_Δ размерной цепи I . Составляющее звено $I_1 = E_1$ – размер исходной заготовки между осью отверстия и плоскостью симметрии боковых поверхностей полков, а размер I_2 непосредственно получается на данной операции и определяет расстояние между плоскостями симметрии боковых поверхностей полков исходной заготовки и после ее обработки.

Погрешность звена D_1 во втором варианте базирования вычисляется как сумма погрешностей составляющих звеньев размерной цепи:

$$\omega_{D_1} = \omega_{I_\Delta} = \omega_{I_1} + \omega_{I_2}.$$

В третьем варианте базирования заготовки на первой операции (рисунок 15.7, г) в качестве технологической базы, определяющей точность выполнения размера D_1 , принята общая ось отверстий диаметрами 90 и 85. В этом случае расстояние будет играть роль замыкающего звена $K_\Delta = D_1$ размерной цепи системы ЗИПС, на которой будет выполняться первая операция.

Даже без подстановки численных значений погрешностей составляющих звеньев, выявленных технологических размерных цепей, можно определить, что наибольшую равномерность распределения припуска в горизонтальной плоскости при растачивании отверстий обеспечивает третий вариант базирования заготовки на первой операции, несколько большее колебание припуска обеспечит второй вариант базирования и наибольшая

неравномерность распределения припуска по поверхностям будет наблюдаться при первом варианте базирования.

Порядок выполнения задания

1. По выданному преподавателем чертежу детали изобразить ее эскиз.
2. Связать с деталью систему координат и пронумеровать все ее конструктивные элементы.
3. Выявить размерные связи детали, разобрать модель чертежа в виде графа размерных связей.
4. Выполнить анализ размерных связей детали и установить комплект (комплекты) единых технологических баз.
5. Сделать вывод о решении задач базирования в целом по технологическому процессу изготовления детали.
6. Выявить и четко сформулировать приоритетные задачи по обеспечению равномерности припуска на обрабатываемых поверхностях.
7. Выявить ту операцию технологического процесса, где базирование заготовки на первой операции проявится с интересующей нас стороны; изобразить ее операционный эскиз с размерными связями.
8. Выявить технологическую размерную цепь и записать уравнение погрешностей по рассматриваемому параметру. Выявить размеры, формируемые на первой операции.
9. Разработать несколько вариантов базирования заготовки на первой операции и выявить размерные цепи, с помощью которых формируется точность размеров, связывающих интересующие нас поверхности с базой, входящей в КЕТБ.
10. Решая размерные цепи в уравнениях погрешностей, выбрать оптимальную схему базирования заготовки на первой операции, обеспечивающую решение поставленной задачи.

15.3 Размерный анализ технологических процессов изготовления деталей

Цель занятия – закрепление основных теоретических положений размерного анализа технологических процессов, приобретение практических навыков расчета размеров заготовки на технологических переходах.

Теоретические положения (см. раздел 7)

Методические указания

Содержание работы определяется ее целью и иллюстрируется схемой расчета размеров заготовки на технологических переходах, приведенной на рисунке 15.8.

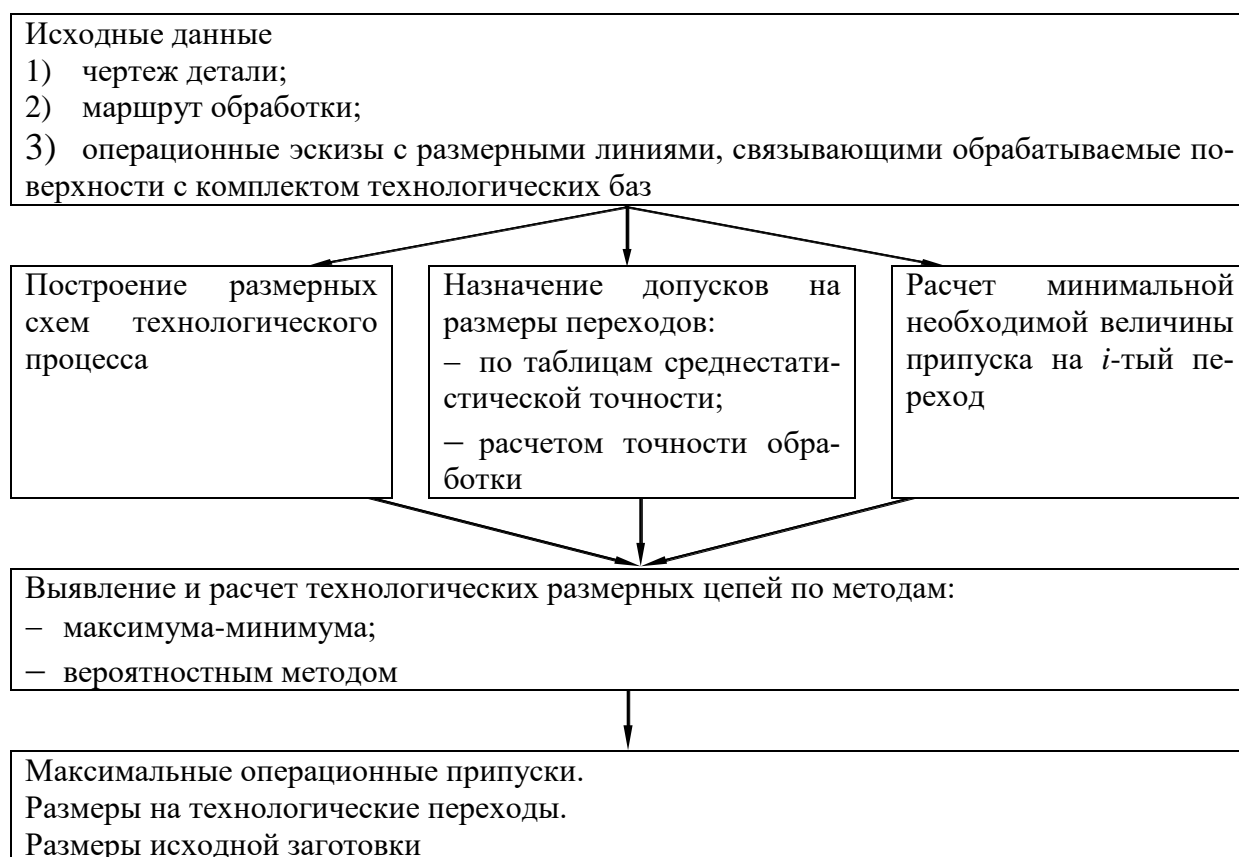


Рисунок 15.8. – Блок-схема расчета размеров на технологические переходы

Проведение размерного анализа технологического процесса начинается с параллельного выполнения следующих видов работ: построения размерных схем технологического процесса, назначения допусков на размеры исходной заготовки и размеры переходов, назначения минимально необходимой величины припуска на i -тый технологический переход.

Назначение допусков на размеры исходной заготовки не представляет трудностей и осуществляется в соответствии с принятыми видом и методом получения заготовки.

При назначении допусков на размеры технологических переходов должно соблюдаться следующее условие:

$$T_{A_{\text{оп}}} \geq \omega_{A_{\text{ст}}}, \quad (15.1)$$

где $T_{A_{\text{оп}}}$ – задаваемый допуск на размер A – технологической операции;

$\omega_{A_{\text{ст}}}$ – погрешность размера A , которая может возникнуть на данной операции при нормальном состоянии технологической системы (статистическая точность обработки).

При использовании данного правила назначения допусков на операционные размеры могут иметь место два случая:

1. $T_{A_{\text{оп}}} = \omega_{A_{\text{ст}}}$. Этот случай наиболее простой. По таблицам статистической (экономической) точности, содержащимся в справочной литературе, допуск на операционный размер назначают равным статистической точности $\omega_{A_{\text{ст}}}$.

2. $T_{A_{\text{оп}}} > \omega_{A_{\text{ст}}}$. Этот случай возникает наиболее часто и может диктоваться экономическими и технологическими соображениями.

При расширении допусков стоимость операции может уменьшаться. Это происходит вследствие того, что более широкие допуски обеспечивают возможность работы на повышенных режимах, меньшие затраты времени на наладку станка, менее частые его подналадки, переточки инструмента, меньшую квалификацию рабочих и т.д. Однако расширение допуска на какой-либо операции приводит к увеличению средних припусков и, как следствие, к увеличению размеров заготовки и ее стоимости.

Таблицы точности составлены на основании сбора статистических данных в производственных условиях. При их составлении анализировались данные только таких операций, когда технологические базы и поверхности, от которых осуществляется настройка, совпадают с измерительными базами (погрешность от несовпадения баз $\Delta_{\delta} = 0$) и когда измерительные базы (поверхности) имели минимальные пространственные отклонения $\rho \approx 0$).

Из сказанного выше следует, что допуски на размеры переходов должны назначаться с учетом выполнения технологической операции в конкретных условиях и в общем случае должно удовлетворяться равенство

$$T_{A_{\text{оп}}} = \omega_{A_{\text{ст}}} + \Delta_{\delta} + \rho_{\text{и}}. \quad (15.2)$$

Причем в ряде случаев в равенстве (15.2) вместо погрешности базирования Δ_δ целесообразно учитывать погрешность установки Δ , определяемую суммой погрешности базирования и закрепления.

На практике широко используют методику профессора В.М. Кована определения величины минимально необходимого припуска и расчета размеров на технологические переходы. В соответствии с этой методикой величина минимально необходимого припуска на i -тый переход определяется по формуле

$$Z_{i\min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \Delta_i, \quad (15.3)$$

где $R_{z_{i-1}}$ – высота микронеровностей обрабатываемой поверхности, возникающих на смежном предшествующем переходе;

T_{i-1} – глубина дефектного слоя, созданного на смежном предшествующем переходе;

ρ_{i-1} – значение пространственных отклонений во взаимном расположении обрабатываемой поверхности и технологической базы на данном переходе, возникших на смежном предшествующем переходе;

Δ_i – погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Формула (15.3) справедлива для способа расчета размеров на технологические переходы, предложенного профессором В.М. Кованом. При проведении размерного анализа величину минимально необходимого припуска $Z_{i\min}$ следует определять по формуле

$$Z_{i\min} = R_{z_{i-1}} + T_{i-1}, \quad (15.4)$$

т.к. прочие составляющие (ρ_{i-1} , Δ_i), в отличие от методики профессора В.М. Кована, учитываются отдельно.

В технологических размерных цепях припуск на обработку чаще всего является замыкающим звеном. Исключение составляет случай, когда осуществляется обработка незамкнутой поверхности, представляющей технологическую базу на данной операции. В этом случае припуск Z перестает зависеть от размера предшествующей обработки A_Π и размера, получаемого на выполняемой обработке A_B . Он зависит только от точности установки режущего инструмента относительно технологической базы. Следовательно, припуск приобретает значение составляющего звена. Величина A_B , наоборот, становится зависимой от A_Π и Z и ее колебание ω_{A_B} будет складываться из колебаний T_{A_Π} и T_Z . Иными словами, звено A_B является замыкающим. Так как звено Z является составляющим, то допуск T_Z на него может быть найден как для звена, размер которого вычисляется по формуле (15.2).

Следует иметь в виду, что при сложной конфигурации детали вдоль каждой из координатных осей можно строить размерные схемы технологического процесса не в целом по всему контуру детали, а по отдельным участкам, не имеющим конструктивных размерных связей с другими участками детали.

Порядок построения схемы удобнее всего проследить на примере. В таблице 15.1 приведены сведения о детали и технологическом процессе ее изготовления. Построенные на основании данных этой таблицы размерные схемы технологического процесса приведены на рисунках 15.9 и 15.10

[illegible]

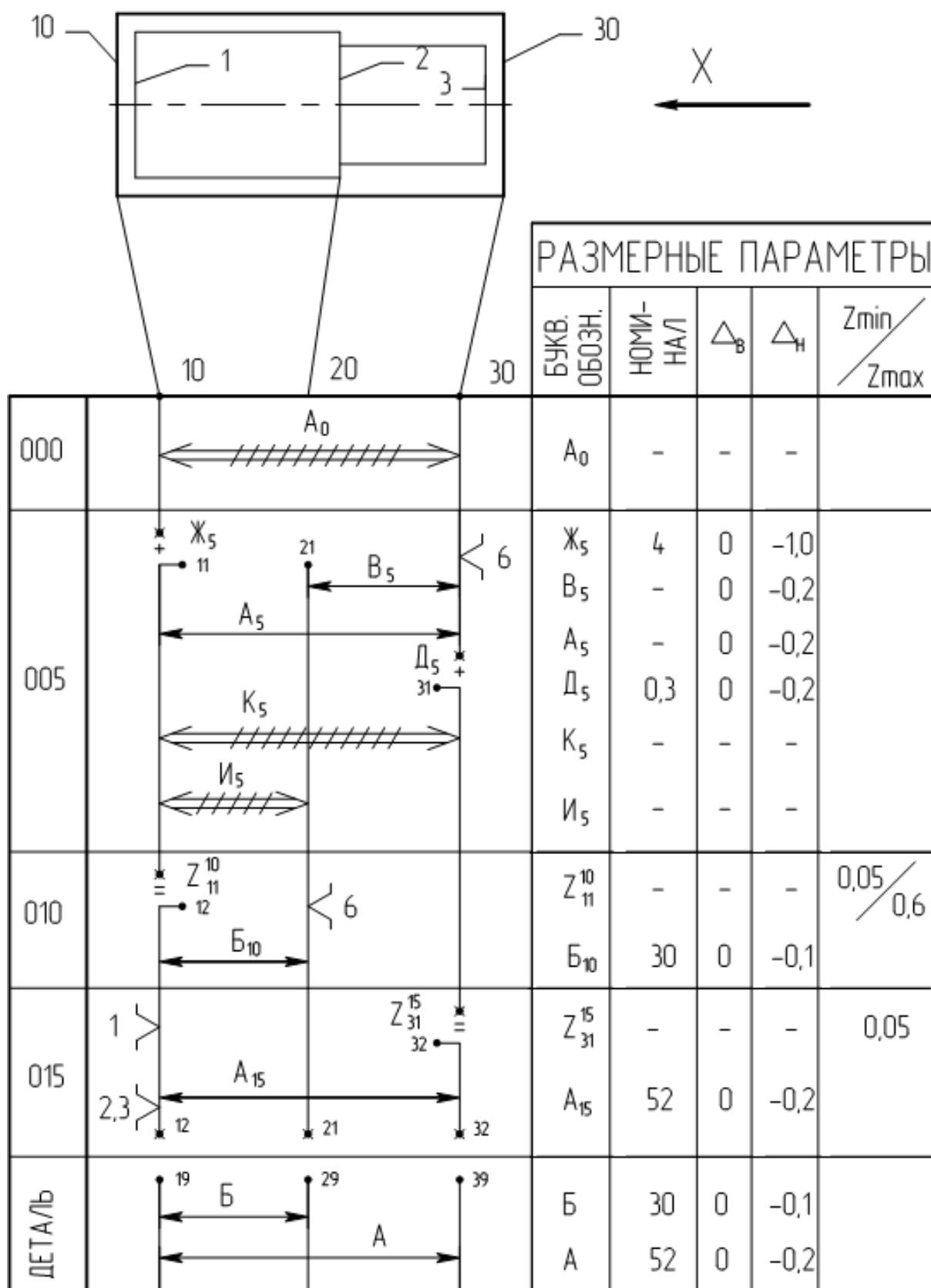


Рисунок 15.9. – Размерная схема технологического процесса по направлению оси X

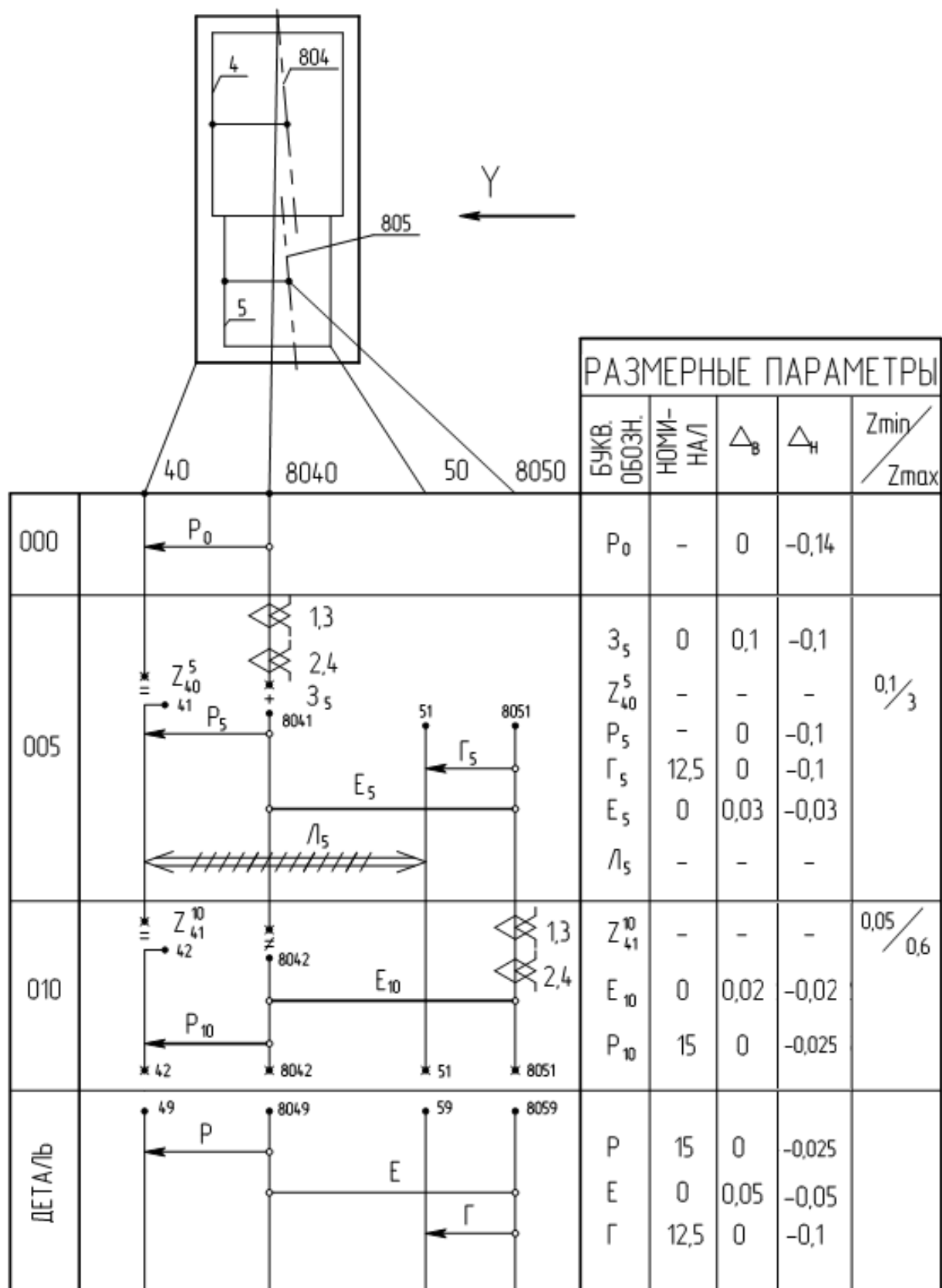


Рисунок 15.10. – Размерная схема технологического процесса по направлению оси Y

При построении размерных схем применяются условные обозначения, приведенные в приложении В. Рекомендуется в состав размерной схемы включать таблицу, содержащую сведения о размерных параметрах по образцу рисунков 15.9 и 15.10. Материалы таблицы 15.1 являются достаточными для проведения технологических размерных расчетов.

Рассмотрим более подробно построение размерной схемы технологического процесса по направлению оси X (см. рисунок 15.9). Построение начинается с изображения в верхней части листа преобразованного чертежа заготовки с наложенным контуром детали. Как уже указывалось, под чертежом заготовки должна располагаться линия, на которой проставляются коды всех вертикалей. В соответствии с номерами торцовых поверхностей детали вертикали будут иметь коды 10, 20, 30. Деталь имеет три торцовые поверхности 1, 2, 3. Заготовка имеет только две торцовые поверхности, соответствующие поверхностям 1 и 3 детали. Под кодами 10 и 30 ставятся жирные точки. Это означает, что эти поверхности имеются у заготовки. Ниже на вертикалях строится размерная схема.

В данном случае заготовительная операция 000 введена в технологический процесс условно, поскольку размер A_0 заготовки формируется и исключается на токарно-револьверной операции 005. Однако знание размера A_0 необходимо для расчета массы материала детали.

На операции 005 образованы поверхности 11, 21 и 31. Образование этих поверхностей обозначено точками.

Поверхности 11 и 31 образованы в результате снятия припусков с поверхностей 10 и 30. В данном случае эти припуски и их колебания не зависят от выполняемых в технологическом процессе размеров, они являются составляющими звеньями размерных цепей, поэтому обозначаются как обычные линейные размеры A_5 и H_5 (индекс размера указывает номер операции, на которой он возникает).

В результате снятия припусков A_5 и H_5 поверхности 10 и 30 исключаются на данной операции, что обозначается перечеркнутыми точками. Операция 005 настраивалась на выполнение размеров A_5 и B_5 , однако в ходе выполнения операции эти размеры исключаются. О правильности выполнения операции можно судить, контролируя размеры K_5 и I_5 . Размеры K_5 , I_5 и A_0 в ходе осуществления технологического процесса непосредственно не выполнялись и являются функцией других размеров, следовательно, они будут замыкающими звеньями размерных цепей.

На шлифовальной операции 010 образовалась поверхность 12 за счет снятия припуска Z_{11}^{10} (нижний индекс указывает номер поверхности,

с которой снят припуск, верхний – номер операции). Поверхность 12 скоординирована относительно базовой поверхности 21 размером B_{10} . На операции 015 фрезеровался торец, исключается поверхность 31 и получается поверхность 32. При этом был удален припуск Z_{31}^{15} . На этом технологический процесс закончился. Припуски Z_{11}^{10} и Z_{31}^{15} удалялись с поверхностей, не являющихся технологическими базами на соответствующих операциях и будут замыкающими звеньями операционных размерных цепей. Окончания технологического процесса отражаются перечеркнутыми точками на вертикалях схемы с указанием кодов поверхностей, полученных в ходе выполнения технологического процесса (коды 12, 21, 32). После разрыва вертикалей на них ставятся точки и указываются коды поверхностей детали (коды 19, 29, 39). Ниже наносятся размерные линии детали.

Размерную схему в диаметральном направлении (рисунок 15.10) строят подобно предыдущей, однако имеются и отличия. Наряду с вертикалями, имитирующими цилиндрические поверхности, проводят вертикали, имитирующие ось каждой цилиндрической поверхности, а также каждой центральной фаски. В размерном анализе используются радиусы-звенья; припуски и допуски назначают на радиусы. Радиусы-звенья проводятся от оси поверхности до ее образующей. Образование каждой цилиндрической поверхности отмечается на операциях жирной точкой, при этом старая ось исключается и образуется новая ось, которая также отмечается жирной точкой. Оси между собой могут быть соединены с помощью связи – отклонения от соосности (линия с кружочками на концах). Все эти связи определяются из эскизов плана операций. Так, например, на операции 005 указано требование: допуск соосности поверхностей 4 и 5, $E_5 = \pm 0,03$. На размерной схеме это требование выражено связью 8051-8041.

После построения схемы приступают к выявлению размерных цепей. Для этого необходимо выявлять размерные контуры: обход начинают справа налево по замыкающему звену и двигаются по вертикалям схемы и соответствующим звеньям, образованными на данной и предшествующих операциях, до тех пор, пока не будет достигнута исходная точка. При таком направлении обхода направление движения по соответствующему звену совпадает с принятыми графическими символами увеличивающего (\rightarrow) и уменьшающего (\leftarrow) звеньев. При выявлении размерных контуров по схеме в диаметральном направлении обход ведут по радиус-звеньям, вертикалям и звеньям-отклонениям от соосности. Если имеется замыкающее

звено-отклонение от соосности, то обход ведут только по осям и звеньям-отклонениям от соосности. Все звенья записываются в уравнение. В левой части уравнения записываются обозначения номинала замыкающего звена, а в правой – обозначения номиналов составляющих звеньев со своими знаками (увеличивающие – плюс, уменьшающие – минус). Составляющие звенья-отклонения от соосности можно считать как увеличивающими, так и уменьшающими звеньями, результат расчета при этом не изменится.

После построения плана операций, размерных схем и выявления контуров размерных цепей необходимо убедиться в том, что размерные схемы обеспечат решение всех размерных цепей, а также заранее установить размерную корректность принятого варианта процесса.

Проверка размерной корректности заключается в том, чтобы до начала расчета размерных цепей и поиска неизвестных номиналов звеньев убедиться, что намеченный вариант технологического процесса обеспечит получение годных деталей в соответствии с чертежом как по допустимым отклонениям размеров, так и по допустимым величинам пространственных отклонений. Для этого необходимо по каждой из размерных схем найти контуры и выполнить проверку колебаний размеров замыкающих звеньев – чертежных размеров.

Чертежные размеры $A_{\text{черт}}$, которые не выполнялись непосредственно в ходе технологического процесса, а явились результатом выполнения других размеров, будут иметь колебания погрешности $\omega_{A_{\Delta}}$, равное алгебраической или вероятностной сумме допусков составляющих звеньев $\sum T_{A_{\text{оп}}}$. Поэтому проверка таких звеньев-чертежных размеров выполняется по условию

$$T_{A_{\text{черт}}} \geq \omega_{A_{\Delta}} = \sum T_{A_{\text{оп}}} . \quad (15.5)$$

На пример, в первоначальном варианте технологического процесса изготовления оси (см. таблицу 15.1) фрезерная операция 015 не предусматривалась. Предполагалось, что размер A детали будет получен как замыкающее звено размерной цепи в результате выполнения других размеров. На размерной схеме рисунок 15.9 с учетом исключения операции 015 был получен контур размерной цепи, в которой размер A является замыкающим звеном (рисунок 15.11).

Колебание погрешности $\omega_{A_{\Delta}}$ замыкающего звена A определится как сумма допусков составляющих звеньев

$$\omega_{A_{\Delta}} = T_{B_{10}} + T_{B_5} + T_{D_5} = 0,1 + 0,2 + 0,2 = 0,5 .$$

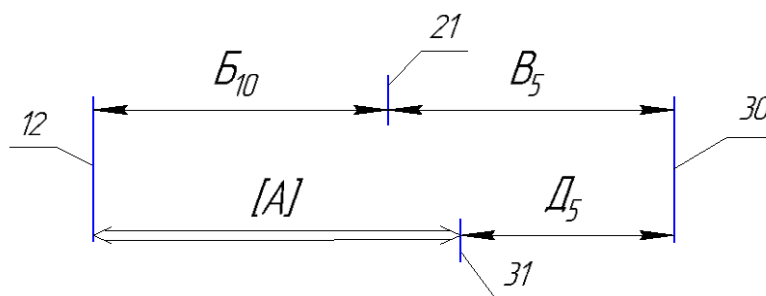


Рисунок 15.11. – Контур размерной цепи

Допуск по чертежу на размер A составляет $T_A = 0,2$. Следовательно, $\omega_{A_\Delta} \gg T_{B_{10}}$ и условие (15.5) не выполняется, т.е. первоначальный вариант технологического процесса не обеспечивает требование чертежа по точности размера A . На основании этого и было принято решение ввести в технологический процесс вертикально-фрезерную операцию 015, обеспечивающую получение размера A прямым путем. После установления размерной корректности принятого варианта технологического процесса выявляются все остальные размерные контуры.

Уравнения номиналов образующихся размерных цепей запишутся следующим образом:

– в направлении оси X :

$$1) [Z_{31}^{15}] = -A_{15} + B_{10} + B_5 - D_5,$$

$$2) [Z_{11}^{10}] = A_5 - B_5 - B_{10},$$

$$3) [I_5] = A_5 - B_5,$$

$$4) [K_5] = A_5 - D_5,$$

$$5) [A_0] = \mathcal{K}_5 + A_5;$$

– в направлении оси Y :

$$1) [Z_{41}^{10}] = P_5 + E_5 - E_{10} - P_{10},$$

$$2) [Z_{40}^5] = P_0 + Z_5 - P_5,$$

$$3) [\Lambda_5] = P_5 + E_5 - \Gamma_5.$$

В результате решения этих размерных цепей в указанной последовательности по каждой из координатных осей определяются максимальные операционные припуски, размеры на технологические переходы и размеры исходной заготовки.

Порядок выполнения задания

1. По полученному заданию (таблицы 15.1 и 15.2) изучить чертеж детали и вариант технологического процесса ее изготовления.

Таблица 15.2. – Варианты заданий

№ варианта	Значение размерных параметров				
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>2P</i>	<i>2Г</i>	<i>E</i>
1	58 _{-0,2}	28 _{-0,08}	30 _{-0,052}	25 _{-0,21}	0±0,03
2	60 _{-0,2}	30 _{-0,1}		26 _{-0,33}	0±0,04
3	58 _{-0,3}	30 _{-0,13}		28 _{-0,52}	0±0,05
4	60 _{-0,3}	28 _{-0,21}		26 _{-0,21}	0±0,03
5	60 _{-0,2}	28 _{-0,13}		28 _{-0,33}	0±0,04
6	65 _{-0,3}	32 _{-0,1}	36 _{-0,1}	35 _{-0,25}	0±0,05
7	70 _{-0,2}	35 _{-0,16}		34 _{-0,39}	0±0,04
8	62 _{-0,24}	32 _{-0,16}		32 _{-0,62}	0±0,04
9	71 _{-0,4}	34 _{-0,25}		35 _{-0,39}	0±0,03
10	64 _{-0,3}	32 _{-0,1}		34 _{-0,62}	0±0,05
11	72 _{-0,4}	36 _{-0,1}	38 _{-0,062}	36 _{-0,25}	0±0,03
12	74 _{-0,3}	38 _{-0,16}	40 _{-0,062}		0±0,04
13	75 _{-0,46}	34 _{-0,25}	42 _{-0,1}		0±0,05
14	76 _{-0,4}	36 _{-0,25}	40 _{-0,1}		0±0,04
15	72 _{-0,24}	34 _{-0,16}	42 _{-0,16}		0±0,05
16	42 _{-0,25}	22 _{-0,084}	20 _{-0,052}	18 _{-0,27}	0±0,05
17	40 _{-0,39}	20 _{-0,084}	22 _{-0,13}		0±0,04
18	42 _{-0,2}	22 _{-0,13}	20 _{-0,084}		0±0,04
19	45 _{-0,4}	20 _{-0,13}	22 _{-0,084}		0±0,05
20	44 _{-0,25}	22 _{-0,21}	20 _{-0,13}		0±0,03
21	45 _{-0,25}	20 _{-0,084}	24 _{-0,052}	20 _{-0,33}	0±0,03
22	52 _{-0,2}	24 _{-0,13}	22 _{-0,052}		0±0,05
23	50 _{-0,39}	22 _{-0,21}	24 _{-0,84}		0±0,04
24	48 _{-0,25}	24 _{-0,13}	22 _{-0,084}		0±0,03
25	44 _{-0,39}	20 _{-0,13}	24 _{-0,13}		0±0,05

2. Построить размерную схему технологического процесса (см. рисунки 15.9 и 15.10).

3. Используя таблицы среднестатистической точности, назначить допуски на размеры технологических переходов с учетом выражения (15.2).

4. В зависимости от метода получения заготовки назначить допуски на размеры исходной заготовки.

5. Определить минимально необходимые величины операционных припусков.

6. Внести сведения об известных размерных параметрах в таблицы размерных схем (см. рисунки 15.9 и 15.10).

7. Оценить размерную корректность рассматриваемого варианта технологического процесса. В случае необходимости внести изменения в технологический процесс изготовления детали. Построить размерную схему предложенного варианта и доказать его размерную корректность.

8. Записать уравнения номиналов размерных цепей в установленной последовательности решения цепей.

9. Путем решения размерных цепей установить максимальные значения операционных припусков, размеры на технологические переходы и размеры исходной заготовки.

16 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Цель самостоятельной работы – закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков по вопросам базирования и размерного анализа технологических процессов изготовления деталей машин.

16.1 Задание для выполнения самостоятельной работы

Задание выдается преподаватель в соответствии с таблицей 16.1 и приложениями А, Б, В.

Таблица 16.1. – Варианты заданий

№ варианта	№ эскиза		№ варианта	№ эскиза	
	приложение А	приложение Б		приложение А	приложение Б
01	1, 12, 21	1д, 2а, 4а	26	7, 12, 24	1б, 2г, 4е
02	2, 11, 29	2а, 3б, 4с	27	9, 14, 24	1б, 2а, 3б
03	3, 14, 21	1г, 3д, 4в	28	8, 15, 25	2а, 3е, 4д
04	3, 15, 24	2а, 3б, 4г	29	10, 18, 26	1в, 3ж, 4в
05	3, 12, 23	1д, 3в, 4а	30	5, 13, 24	1а, 2в, 3б
06	4, 11, 26	2г, 3е, 4д	31	1, 20, 28	1а, 2г, 4д
07	5, 19, 23	2б, 3ж, 4а	32	7, 11, 23	1в, 3в, 4б
08	5, 16, 21	2а, 3е, 4б	33	10, 19, 27	1г, 3е, 4г
09	6, 13, 26	2д, 3г, 4б	34	2, 15, 26	1а, 2в, 3г
10	7, 14, 28	1в, 2г, 4ж	35	4, 20, 27	1в, 3в, 4д
11	7, 18, 21	1а, 1г, 3а	36	9, 18, 23	1г, 3б, 3в
12	4, 17, 22	1б, 3б, 4е	37	1, 16, 24	1в, 2д, 4в
13	8, 11, 27	1г, 3г, 4в	38	2, 17, 30	1б, 2г, 3в
14	9, 16, 28	1в, 3а, 3г	39	10, 20, 25	1д, 2в, 4б
15	8, 13, 22	1д, 3д, 4г	40	6, 17, 27	2б, 3е, 4г
16	9, 12, 29	1а, 2г, 3а	41	7, 20, 30	1б, 3б, 4а
17	10, 16, 22	1а, 3г, 4а	42	1, 18, 25	1б, 2в, 4г
18	1, 14, 23	1г, 2б, 4б	43	3, 18, 30	2в, 3д, 4е
19	10, 17, 21	1б, 3д, 4б	44	4, 13, 28	2д, 3ж, 4ж
20	2, 13, 27	2б, 3а, 4ж	45	6, 11, 25	2г, 3в, 4а
21	4, 15, 29	1а, 3а, 4ж	46	8, 19, 28	2в, 3з, 4ж
22	5, 12, 30	1г, 3г, 4г	47	9, 20, 29	1д, 3в, 3д
23	3, 16, 25	2б, 3г, 4б	48	2, 19, 22	1в, 2д, 3е
24	6, 15, 22	2а, 3д, 4в	49	5, 14, 29	1д, 3д, 4б
25	8, 17, 26	2б, 3ж, 4е	50	6, 19, 30	1д, 2в, 4д

16.2 Содержание самостоятельной работы и требование к ее выполнению

Содержание работы сводится к выполнению двух ее основных разделов.

Базирование заготовок на станках и в приспособлениях

Предусматривается решение двух типов задач (3 задачи первого и 3 задачи второго типов).

При решении задач **первого типа** необходимо разработать теоретическую схему базирования, обеспечивающую получение указанных на операционных эскизах детали линейных и угловых размеров кратчайшим путем, используя принцип совмещения баз. Изобразить систему координат, которая при этом связывается с деталью. На координатных осях отметить стрелками, какие технологические базы каких степеней свободы исключаются при изготовлении детали. Охарактеризовать комплект технологических баз по исключаемым степеням свободы и по характеру проявления.

При решении задач **второго типа** по данной схеме установки заготовки в приспособлении изобразить теоретическую схему базирования, реализуемую в дальнейшем, и изобразить систему координат, которая при этом связывается с заготовкой. На координатных осях отметить стрелками, какие технологические базы каких степеней свободы исключаются у заготовки. Охарактеризовать комплект технологических баз по исключаемым степеням свободы и по характеру проявления.

Размерный анализ технологического процесса изготовления детали

В соответствии с индивидуальным заданием по одной из проекций детали с указанием размерных параметров и предложенному варианту технологического процесса ее изготовления, представленного операционными эскизами, необходимо изобразить размерную схему технологического процесса, назначить допуски на размеры исходной заготовки и размеры детали по переходам, а также назначить минимально необходимые величины припусков на технологические переходы.

Выявить образующиеся технологические размерные цепи по предложенному варианту технологического процесса и решить их по всем параметрам.

Требования к оформлению самостоятельной работы

Самостоятельная работа состоит из двух частей: расчетно-пояснительной записки и графической части.

Графическая часть самостоятельной работы представляется на одном листе формата А1 (ГОСТ 2.301).

Пояснительная записка должна быть выполнена печатным способом с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (ГОСТ 2.301). Цвет шрифта должен быть черным; высота букв, цифр и других знаков составляет не менее 1,8 мм (кегель 14); межстрочный интервал – одинарный.

Расстояние от рамки формы до границ текста в начале и в конце строк – не менее 5 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней границы рамки – не менее 10 мм. Основная надпись формы должна быть заполнена в соответствии с ГОСТ 2.104.

Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах, формулах, теоремах, применяя шрифты разной гарнитуры.

Каждый раздел записки следует начинать с нового листа. Разделы нумеруются арабскими цифрами в пределах всей записки. Подразделы – арабскими цифрами, в пределах каждого раздела, при этом номер подраздела входит в номер раздела и отделен точкой. Например: 3.1; 4.1.1.

Заголовки разделов пишутся прописными буквами, подразделов – строчными (кроме первой прописной). Подчеркивать заголовки и делать в них переносы не допускается.

После номера раздела и подраздела в тексте точка не ставится.

Нумерация страниц записки должна быть сквозной. Номер страницы проставляется арабскими цифрами в соответствующей графе основной надписи. Первой страницей считается титульный лист. Номера страниц на титульном листе и на бланке задания не ставятся, но включаются в общую нумерацию.

Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать в записке непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице.

Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении как черно-белые, так и цветные. На все иллюстрации должны быть даны ссылки.

Чертежи, графики, диаграммы, схемы, иллюстрации, помещаемые в записке, должны соответствовать требованиям государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Слово «Рисунок» и его наименование располагают посередине строки.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рисунок 1.1.

Иллюстрации должны иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом:

Рисунок 1 – Схема базирования

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы следует помещать над таблицей слева, без абзацного отступа в одну строку с ее номером, через тире.

Таблицу следует располагать непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице.

На все таблицы должны быть ссылки в записке. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями. Допускается применять размер шрифта в таблице меньший, чем в тексте записки.

Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не уместится в одну строку, то оно должно быть перенесено после знака равенства (=), плюс (+), минус (–), умножения (\times), деления ($:$) или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяется. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяется знак « \times ».

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле.

Формулы следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах всей записки арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении на строке.

Пример

$$A = a:b, \quad (1)$$

$$B = c:e. \quad (2)$$

Одну формулу обозначают – (1).

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например «... в формуле (1)».

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (3.1).

В записке допускаются ссылки на стандарты, технические условия и другие документы при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования и не вызывают затруднений в использовании документом.

При ссылках на стандарты и технические условия указывают только их обозначение, допускается не указывать год их утверждения при условии полного описания стандарта в списке использованных источников в соответствии с ГОСТ 7.1.

При ссылке в тексте записки на источник используемой литературы, следует приводить порядковый номер по списку литературы, заключенному в квадратные скобки.

Пояснительная записка должна содержать следующие структурные элементы:

Титульный лист.

Задание по самостоятельной работе.

Содержание.

Введение.

1 Базирование заготовок на станках и в приспособлениях.

2 Размерный анализ технологического процесса изготовления детали.

Заключение.

Список использованной литературы.

16.3 Указания по отдельным частям самостоятельной работы

Введение

Во введении необходимо отразить цель выполнения самостоятельной работы.

Базирование заготовок на станках и в приспособлениях

Методические указания по решению задач первого и второго типов даны в разделе 15.1.

Условия задач (эскизы) в соответствии с вариантом задания выполняются в произвольном масштабе, достаточном для размещения на них знаков опорных точек в соответствии с требованиями ГОСТ 21495, системы координат и стрелок перемещений на них.

Знаки опорных точек, система координат и стрелки лишаемых степеней свободы изображаются красным цветом.

В тех случаях, когда условие задачи изображено в одной проекции, система координат изображается в аксонометрии. Необходимо помнить, что координатные оси проходят по базам и линиям пересечения баз.

Ниже графического изображения дается характеристика комплекта баз, включающая номера опорных точек, принадлежащих базе, ее название по исключенным степеням свободы и по характеру проявления. Например, 1, 2, 3 – установочная явная база; 4, 5 – направляющая скрытая база; 6 – опорная скрытая база.

Размерный анализ технологического процесса изготовления детали

Подробно теория и методика проведения размерного анализа приведены в разделе 15.3.

В начале раздела приводятся исходные данные в соответствии с вариантом задания по приложению В. Используя условные обозначения, приведенные в таблице 16.2, изображается размерная схема технологического процесса с примыкающей к ней таблицей размерных параметров (таблица заполняется после расчета минимальных припусков и назначения операционных допусков).







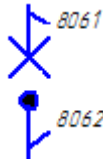
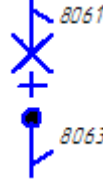
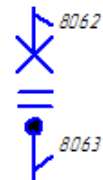
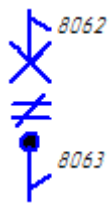
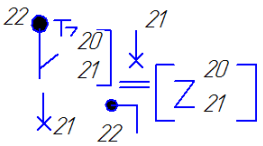
Размерная схема и примыкающая таблица изображаются по образцу примера, приведенного в разделе 15.3.

Расчет минимальных припусков и назначение операционных допусков производятся с использованием одного из справочников технолога-машиностроителя.

После построения размерной схемы необходимо выявить: какие из чертежных размеров получены непосредственно и какие – как замыкающие звенья. Для чертежного размера – замыкающего звена – необходимо выявить размерную цепь, записать уравнение номиналов, определить погрешность выполнения чертежного размера и сопоставить с его допуском.

Если погрешность окажется значительно больше допуска и их равенство не может быть обеспечено за счет ужесточения допусков составляющих звеньев, приходится констатировать, что предложенный в задании технологический процесс не обеспечивает 100% получения годных изделий и потребует корректировки.

Таблица 16.2. – Условные обозначения применяемые для составления размерной схемы технологического процесса

№	Содержание	Условные обозначения
1	2	3
1	Линии и знаки, обозначающие звенья цепей: а) составляющее звено с известным номиналом (группы 7+, 8+)	
	б) составляющее звено с определяемым номиналом (группы 6–)	
	в) замыкающее звено, используемое для нахождения номинальных значений составляющих звеньев (группы 2=, 3=, 4=)	
	г) замыкающее звено, не используемое для поиска номинальных значений составляющих звеньев (группы 0≠, 1≠, 5≠)	
2	Вновь образуемая в операции поверхность 5 (код 51)	
3	Образованная в операции поверхность 5 (код 51)	
4	Образованная и вновь образующая в операции осевая линия 806 (коды 8062, 8061)	
5	То же, при известном смещении осевой линии 806 (смещение 8062)	
6	То же (смещение 8062-8063 – замыкающее звено, используемое для поиска номиналов)	
7	То же (смещение 8062-8063 – замыкающее звено, не используемое для поиска номиналов)	
8	Удаляемый с поверхности 2 в операции 20 припуск (код 22-21 – замыкающее звено)	

Окончание таблицы 16.2

1	2	3
9	То же (припуск составляющее звено)	
10	Поверхность с кодом 64 при необходимости разрыва линии в схеме	
11	Размер между поверхностью В (код II) и поверхностью 2 (код 23) на операции (составляющее звено с известным номиналом)	
12	То же (составляющее звено с определяемым номиналом)	
13	То же (замыкающее звено, используемое для нахождения номиналов составляющих звеньев)	
14	То же (замыкающее звено, не используемое для нахождения номиналов составляющих звеньев), в том числе заменяющих звеньев	
15	Радиус цилиндрической поверхности I (код II), возникающий на операции, и ось этой поверхности (код 8011)	
16	Отклонение от соосности поверхности I (код оси 8013) и поверхности 4 (код оси 8045)	
17	Отклонение от перпендикулярности поверхностей I (код 13) относительно поверхности 3 (код 34)	
18	Отклонение от параллельности поверхности I (код 13) относительно поверхности 2 (код 23)	

Если погрешность окажется незначительно больше допуска, брака можно избежать путем ужесточения допусков составляющих звеньев в пределах экономической точности, что должно быть отражено в таблице размерных параметров.

Корректировка технологического процесса в рамках выполнения курсовой работы не предусматривается. Но все же следует максимально возможно ужесточить допуски составляющих звеньев и тем самым уменьшить процент появления брака.

Начиная с последней операции технологического процесса и по направлению к его началу выявляются операционные размерные цепи по всем замыкающим звеньям и записываются уравнения номиналов. Именно в этой последовательности решаются размерные цепи. Решив предыдущую размерную цепь, определяют недостающие данные для решения последующей размерной цепи.

В заключении этого раздела приводятся решение всех размерных цепей.

16.4 Указания по оформлению и содержанию графической части

Лист формата А1 располагается горизонтально.

Последовательно слева направо изображаются:

- исходные данные для выполнения размерного анализа технологического процесса;
- размерная схема предложенного варианта технологического процесса с примыкающей таблицей размерных параметров;
- записываются уравнения номиналов, образующихся в ходе выполнения технологического процесса операционных цепей.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Попок, Н.Н. Основы технологии машиностроения : учеб.-метод. комплекс для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / Н.Н. Попок, В.И. Абрамов. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 192 с.
2. Суслов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения / А.Г. Суслов, А.М. Дальский. – М. : Машиностроение, 2002. – 684 с.
3. Проектирование технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие для вузов / И.П. Филонов [и др.] ; под общ. ред. И.П. Филонова. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
4. Маталин, А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отд., 1985. – 496 с.
5. Балакшин, Б.С. Теория и практика технологии машиностроения : в 2 кн. / Б.С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1982. – Кн. 1: Технология машиностроения – 241 с.; Кн. 2: Основы технологии машиностроения – 367 с.
6. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / под. ред. В.С. Корсакова. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – М. : Машиностроение, 1977. – 416 с.
7. Мрочек, Ж.А. Основы технологии автоматизированного производства в машиностроении : учеб. пособие. / Ж.А. Мрочек, А.А. Жолобов, Л.М. Акулович. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – 304 с.
8. Технология машиностроения. Курсовое проектирование : учеб. пособие / М.М. Кане [и др.] ; под ред. М.М. Кане, В.К. Шелега. – Минск : Выш. шк., 2013. – 311 с.
9. Проектирование технологий / под ред. Ю.М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1990. – 416 с.
10. Махаринский, Е.И. Основы технологии машиностроения : учеб. / Е.И. Махаринский, В.А. Горохов. – Минск : Выш. шк., 1997 – 423 с.

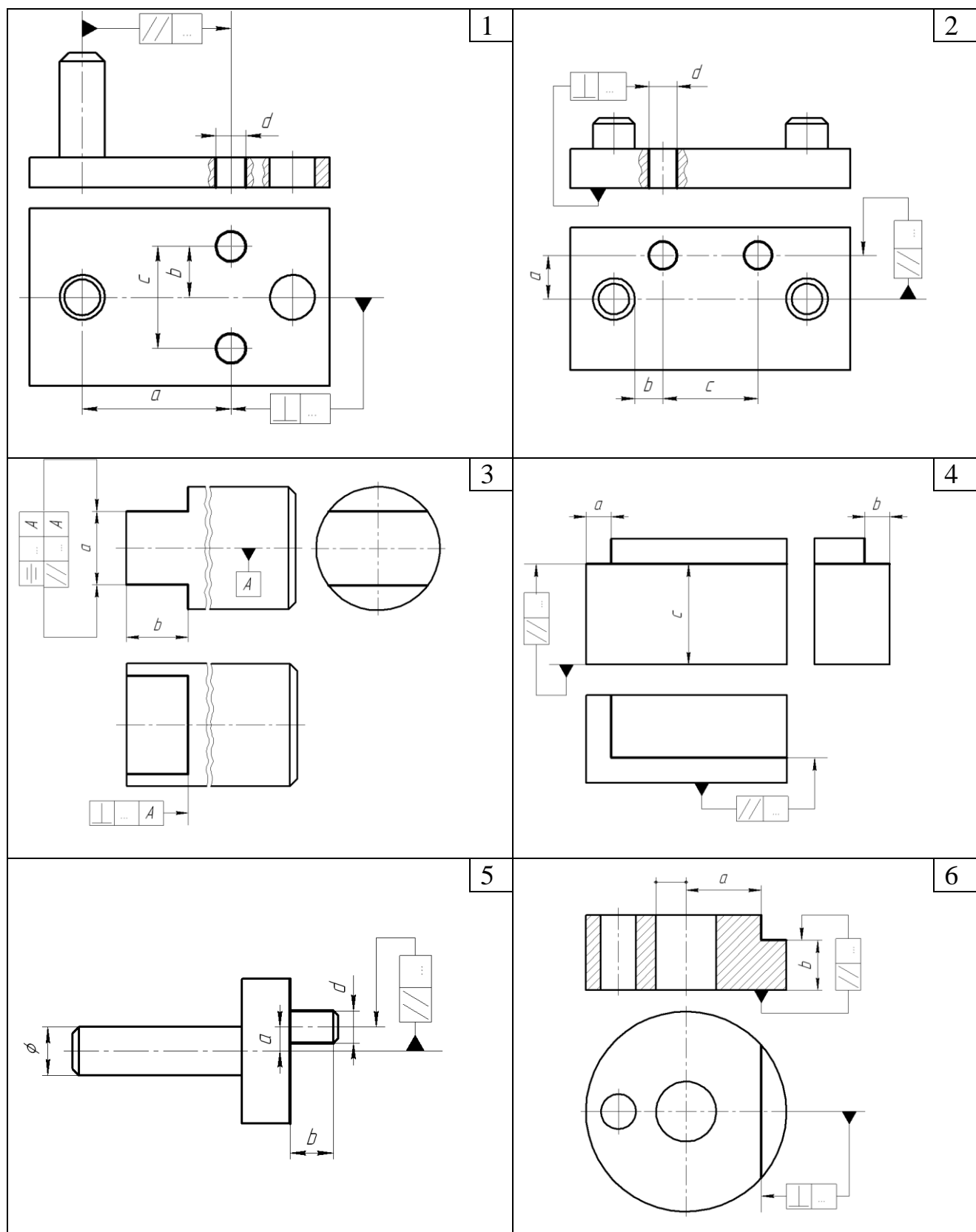
Дополнительная

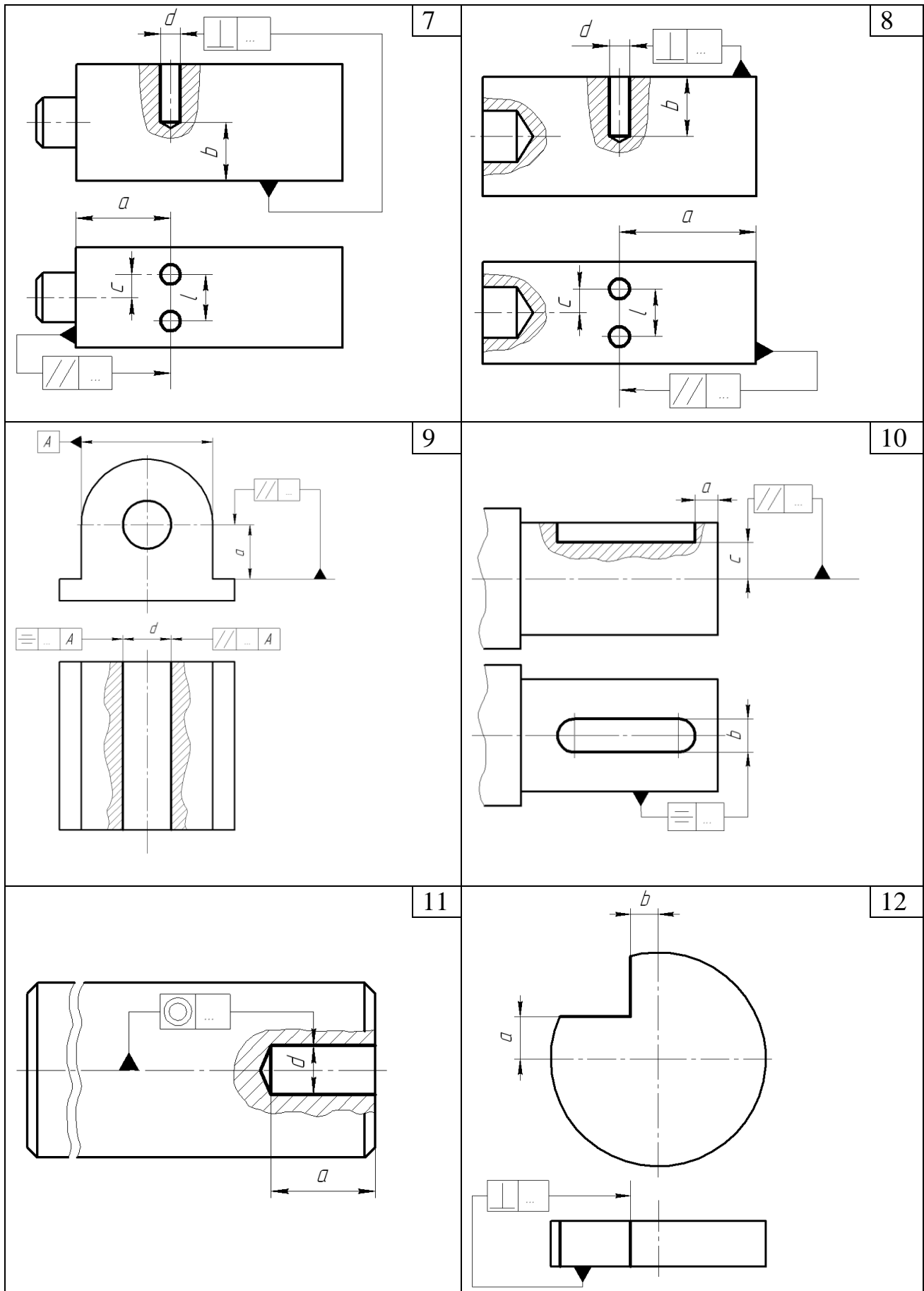
1. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1982. – 264 с.
2. Митрофанов, С.П. Групповая технология машиностроительных производств : в 2 т. / С.П. Митрофанов. – М. : Машиностроение, 1983. – Т. 1 – 404 с.; Т. 2. – 376 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. Д.М. Дальского [и др.]. – М. : Машиностроение, 2003. – 912 с.
4. Базров, Е.М. Модульная технология в машиностроении / Е.М. Базров. – М. : Машиностроение, 2001. – 368 с.
5. Попок, Н.Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства / Н.Н. Попок. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – 396 с.
6. Сборник практических работ по дисциплине «Основы технологии машиностроения» / И.М. Бабул [и др.]. – Минск : БНТУ, 2011. – Ч. 1. – 112 с.
7. Сборник практических работ по дисциплине «Основы технологии машиностроения» / Г.Я. Беляев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2011. – Ч. 2. – 125 с.
8. Ящерицын, П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицын, Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. – Минск : Наука и техника, 1977. – 256 с.

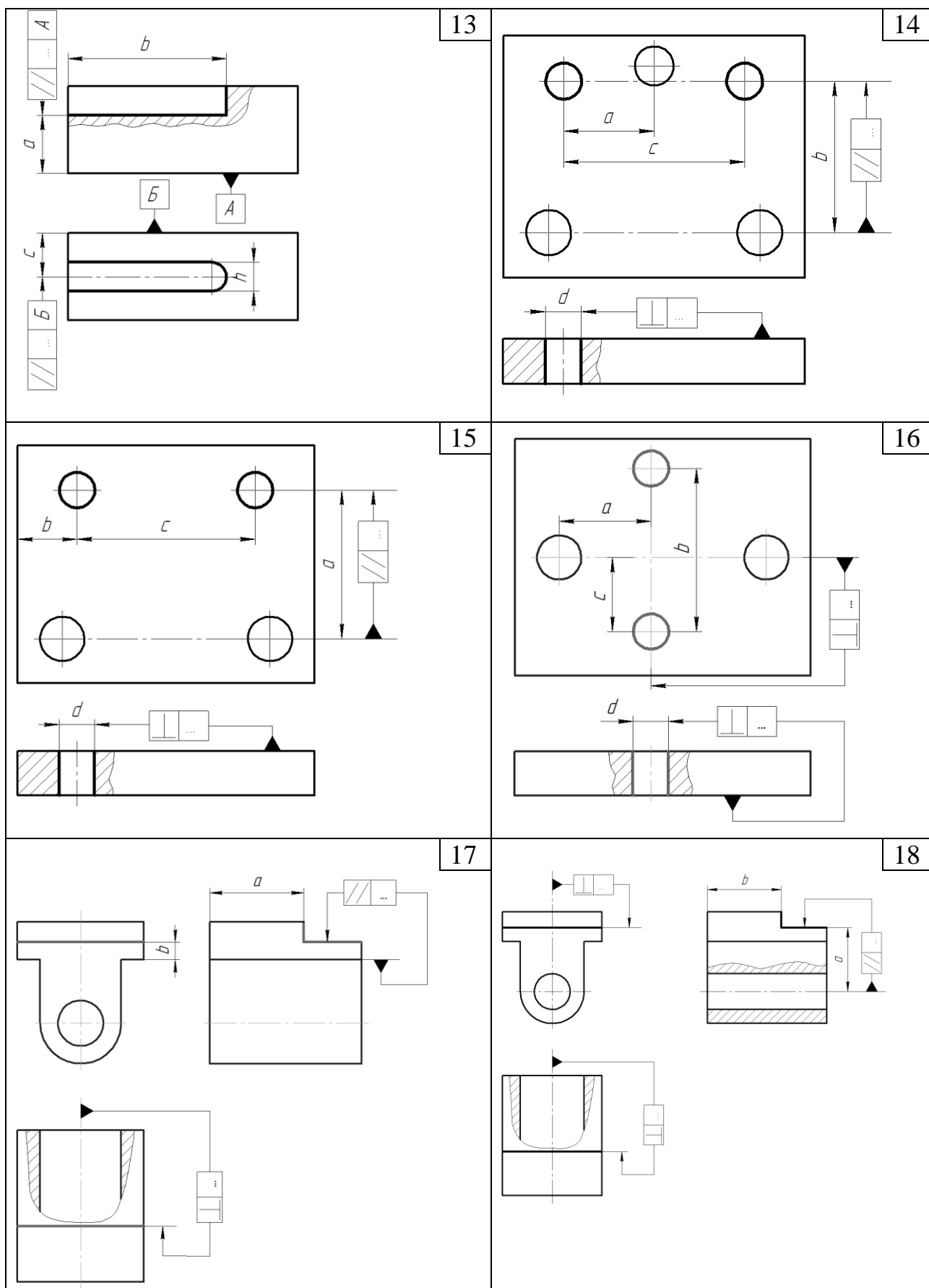
Нормативная

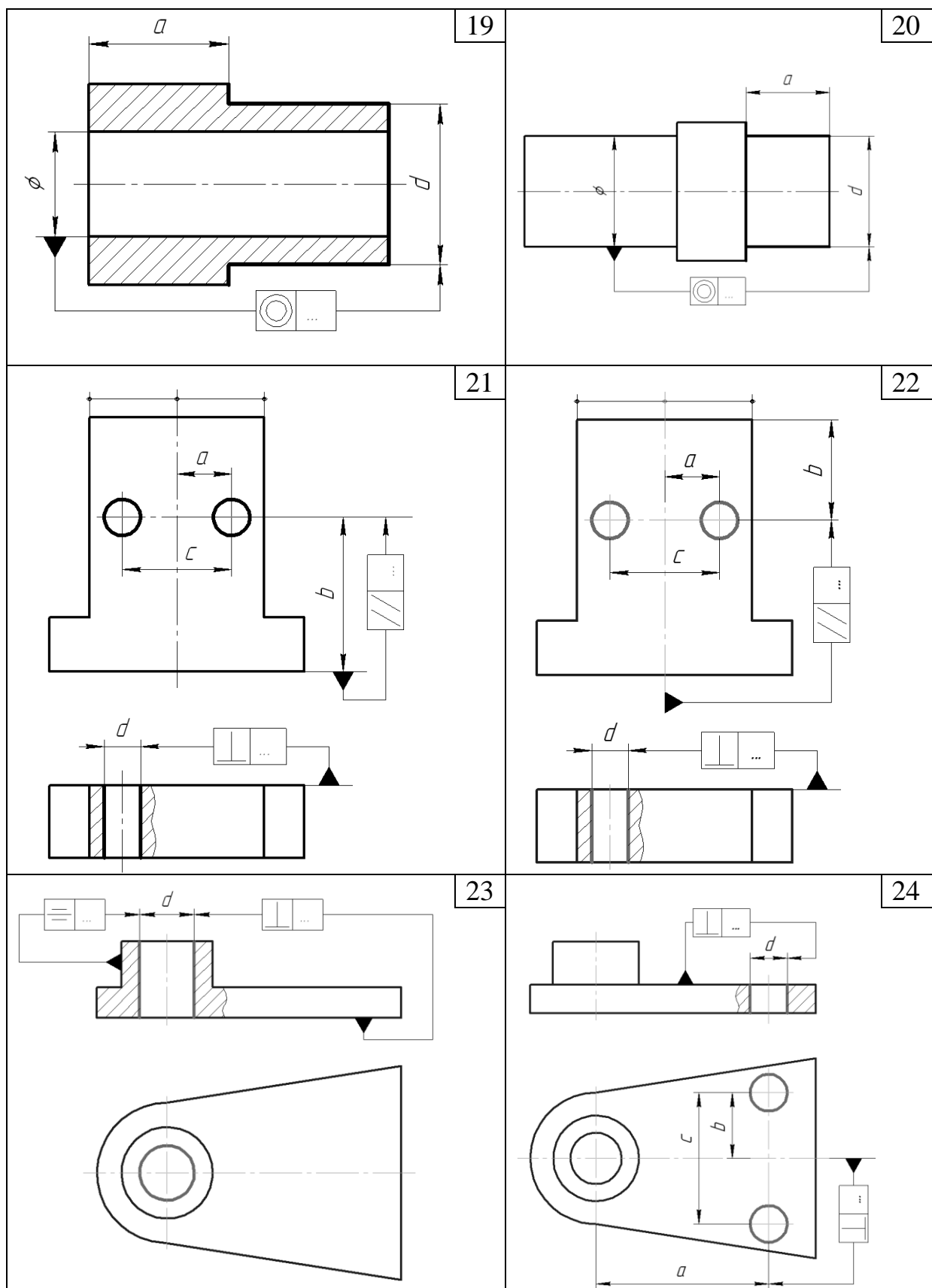
1. ГОСТ 2.101-2016. Единая система конструкторской документации. Виды изделий.
2. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий (издание февраль 2012 г.).
3. ГОСТ 23887. Сборка. Термины и определения.
4. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения (переиздан май 1990 г.).
5. ГОСТ 3.1109-82. Единая система технологической документации. Комплектность документов в зависимости от типа и характера производства.
6. ГОСТ 3.1121-84. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции) (издание февраль 2012 г.)
7. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства (издание февраль 2009 г.)
8. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения. (издание 01.05.2009 г.).
9. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. основные понятия. Термины и определения.
10. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения (Дата актуализации: 01.01.2019).
11. ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010) Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки.
12. РД 50-635-87 Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей.
13. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. параметры, характеристики и обозначения. (Издание (август 2018 г.) с Изменениями № 1, 2, утвержденными в мае 1980 г., январе 2017 г.)
14. ГОСТ 14.201-83 Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования (издание февраль 2009 г.).
15. ГОСТ 14.202-73 Правила выбора показателей технологичности конструкции изделий. (Переиздание декабрь 1983 г.)
16. ГОСТ 14.204-73 Единая система технологической подготовки производства. Правила обеспечения технологичности конструкции деталей. (Переиздание декабрь 1983 г.)
17. ГОСТ 26228-90 Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей

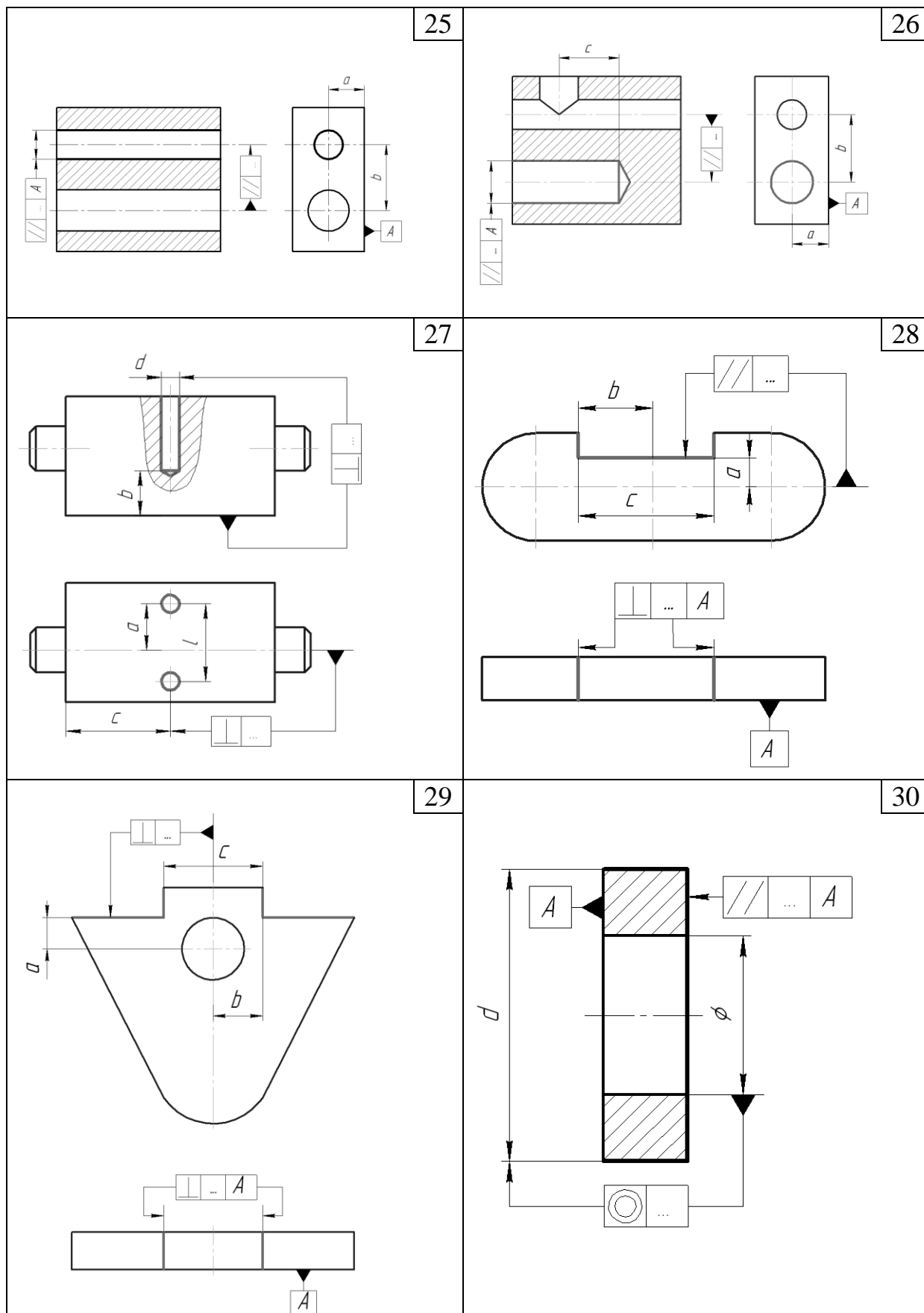
Технологические требования к выполнению операций











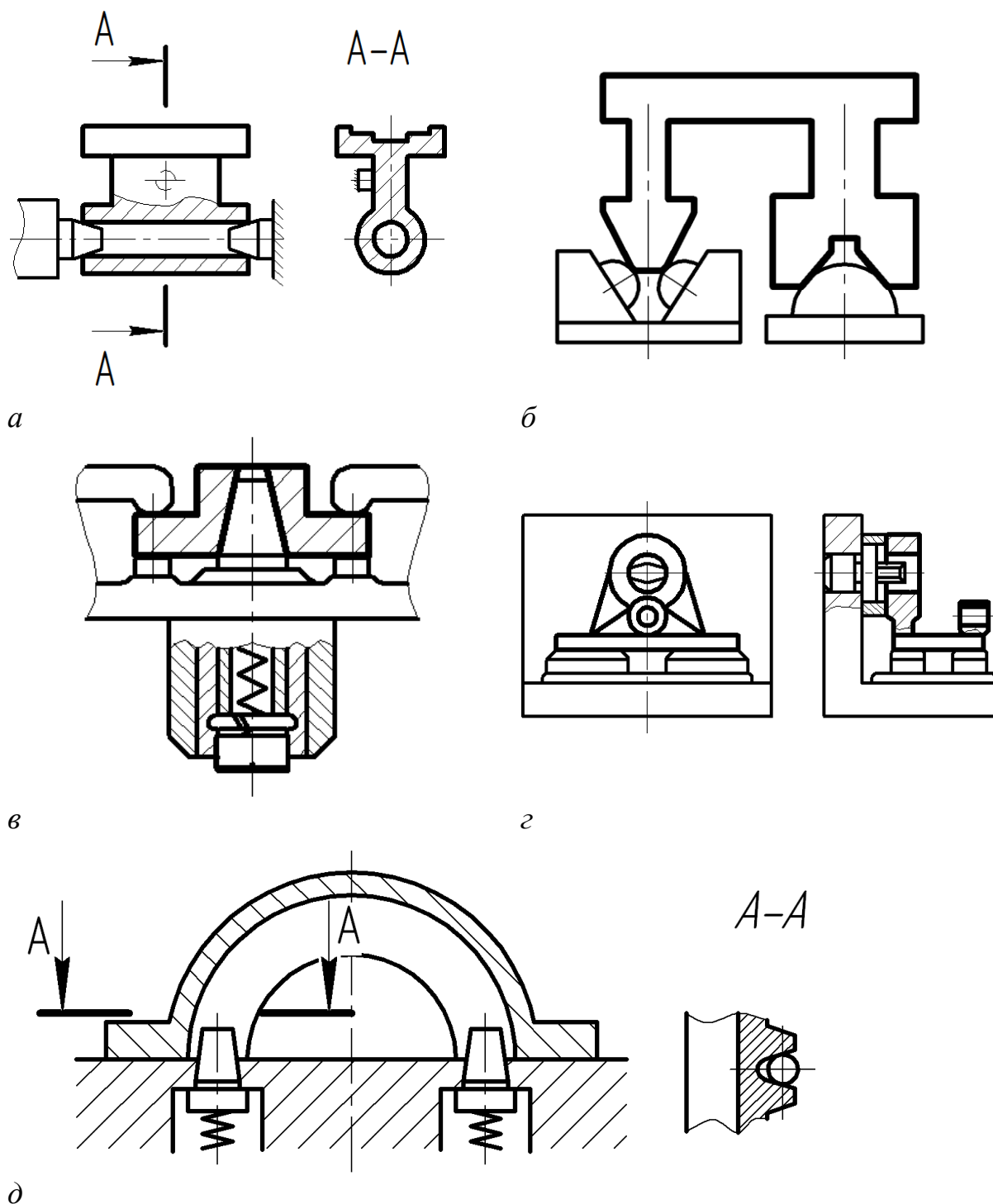


Рисунок Б1. – Комбинированные схемы установки корпусных деталей:
а – на жесткий и подводимый центры с упором в жесткий штырь;
б – на цилиндрическую и сферические опоры; *в* – на опорные штыри и подпружиненный конический палец;
д – на плоскую поверхность и ребрами на подпружиненные конические пальцы

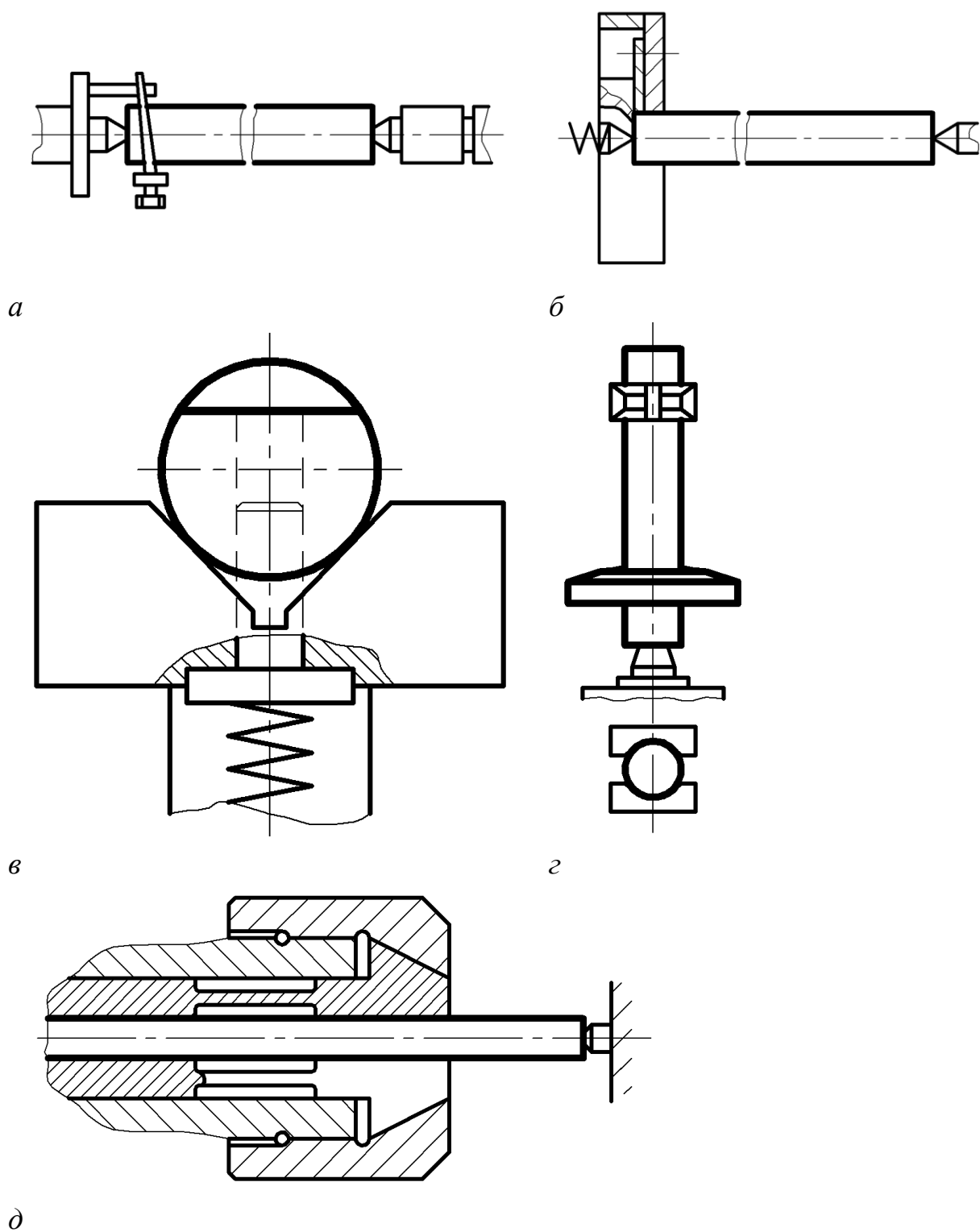


Рисунок Б2. – Семь установки валов:

***a* – в жесткие центры; *б* – в передний плавающий и задний подводимый центры;
в – в призму и на подпружиненный цилиндрический палец; *г* – в узкие призмы
и центровым отверстием на жесткий центр; *д* – в цанговом патроне с упором в торец**

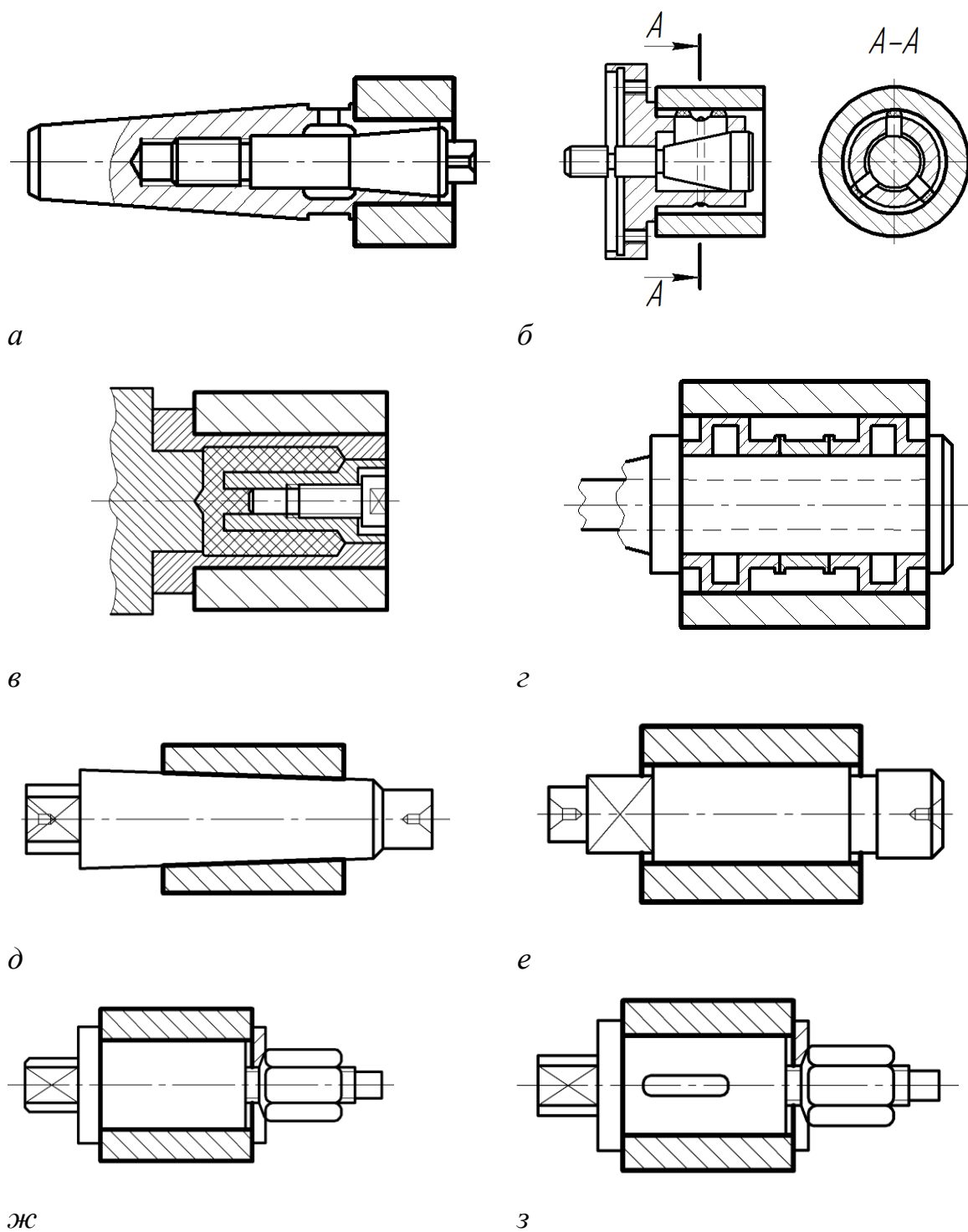


Рисунок Б3. – Схемы установки втулок на оправки:
a – на консольную разжимную оправку; ***б*** – на консольную оправку с тремя разжимаемыми сухарями; ***в*** – на оправку с упругой гильзой, разжимаемой гидропластмассой; ***г*** – на разжимную оправку с гофрированными втулками; ***д*** – на жесткую оправку с малой конусностью; ***е*** – на жесткую оправку с натягом; ***ж*** – на оправку с зазором; ***з*** – на оправку с зазором и фиксацией по углу поворота шпонкой

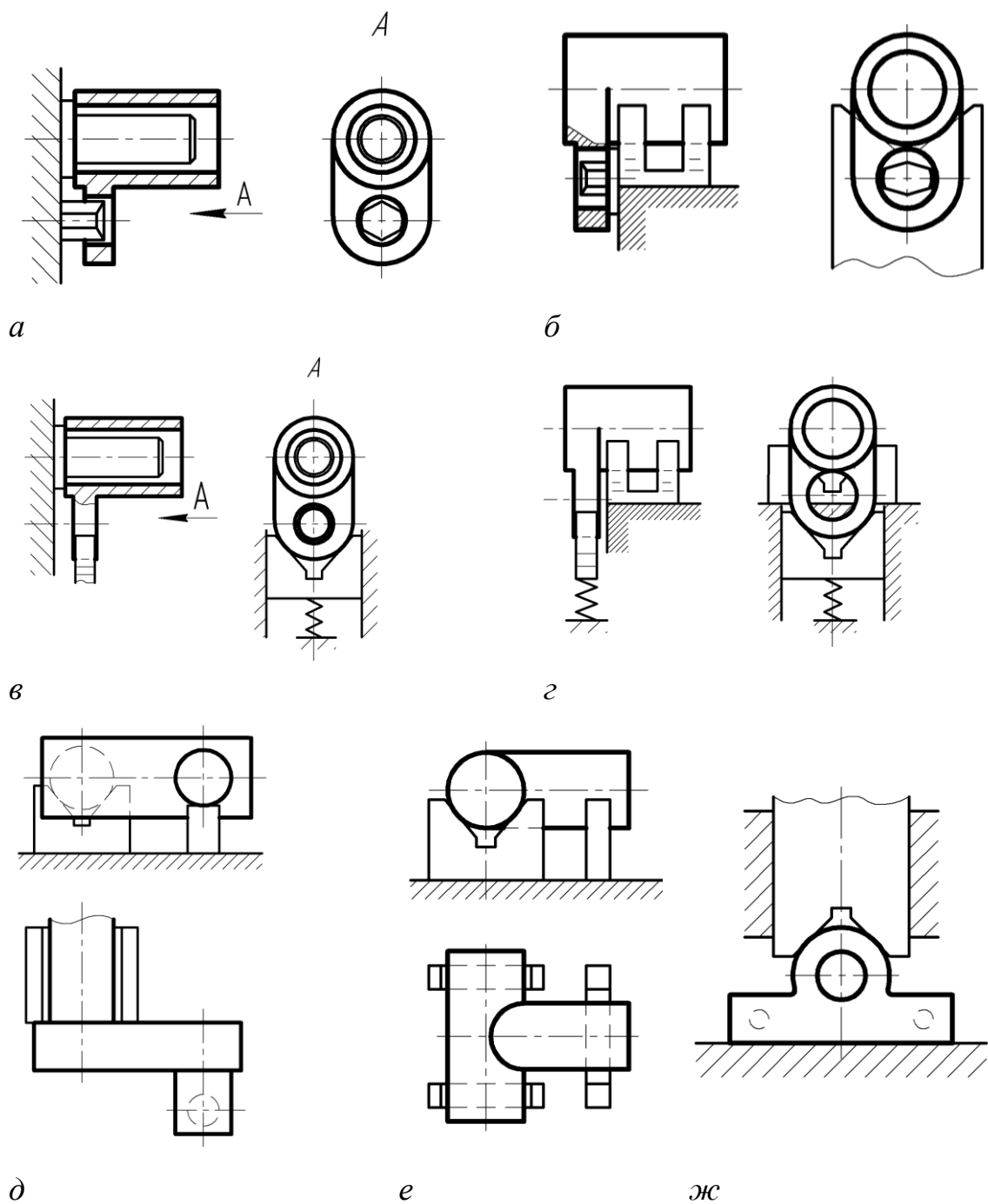


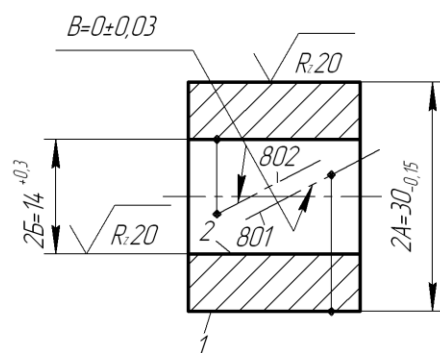
Рисунок Б4. – Схемы установки заготовок на цилиндрические и плоские поверхности: а – на длинный цилиндрический и короткий срезанный пальцы; б – на призму и срезанный палец; в – на длинный цилиндрический палец и короткую подпружиненную призму; г – на длинную и короткую подпружиненную призмы; д – на длинную призму с упором короткой цилиндрической поверхности на штырь; е – на три коротких призмы; ж – по двум плоскостям с центрированием наружной цилиндрической поверхности коротким призматическим зажимным устройством

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№1

ВТУЛКА

(заготовка – стальной круглый прокат).

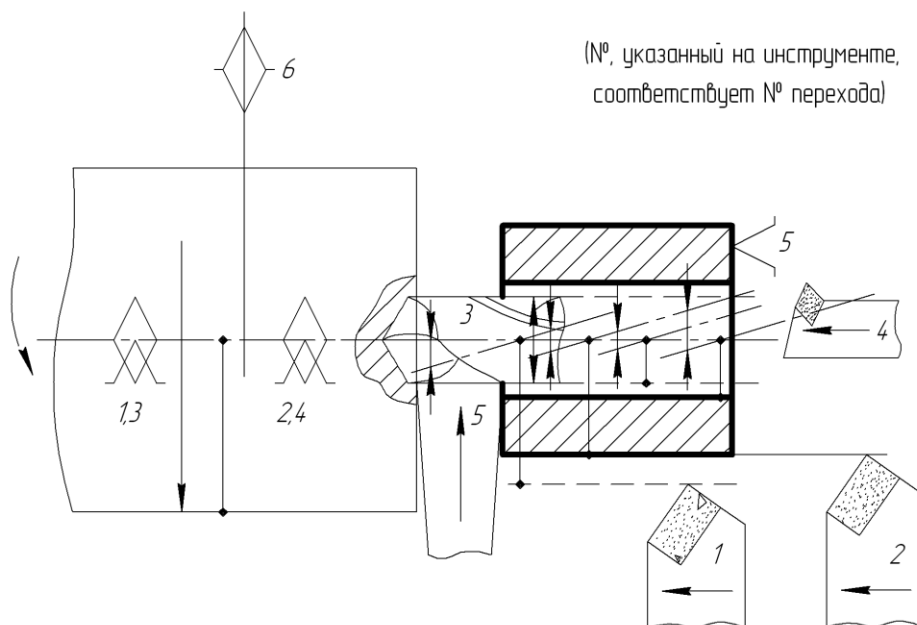


ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

Операция 005. Токарно-револьверна

1. Обточить пруток начерно
2. Обточить пруток начисто
3. Сверлить отверстие
4. Расточить отверстие
5. Отрезать заготовку

(№, указанный на инструменте, соответствует № перехода)



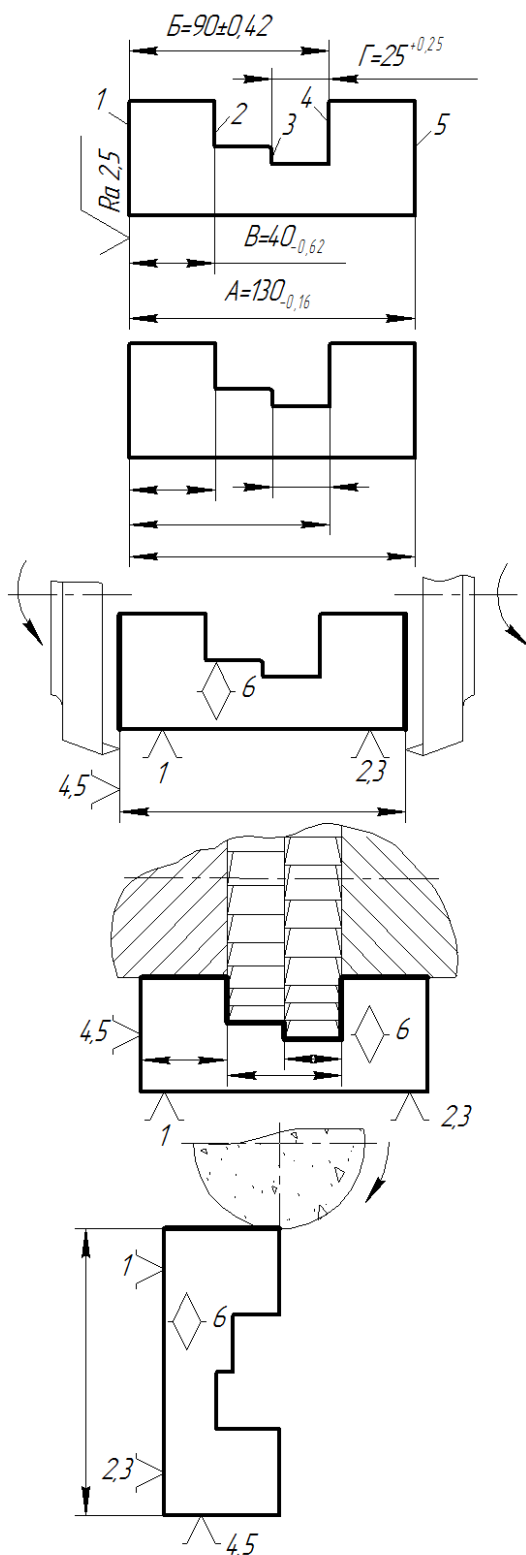
Nº2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)

Операция 005.
Горизонтально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1 и 5
одновременно

Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2,3 и 4
набором фрез.

Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

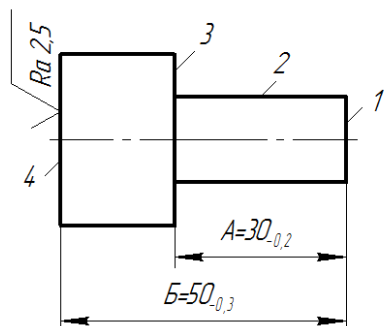


ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№3

ПА/ЛЕЦ

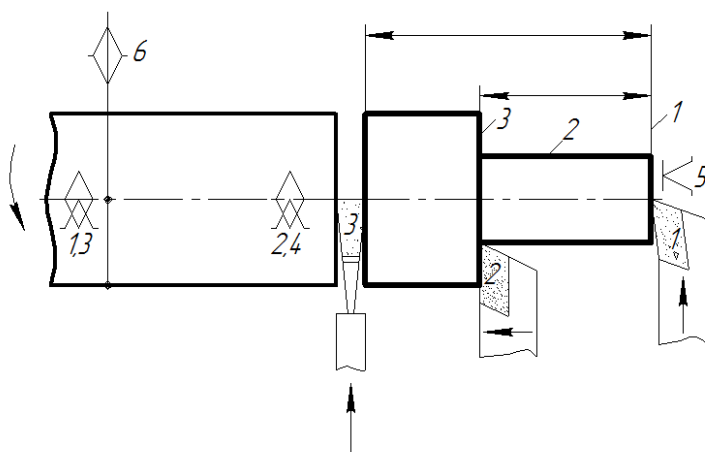
(заготовка – стальной
круглый прокат)



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

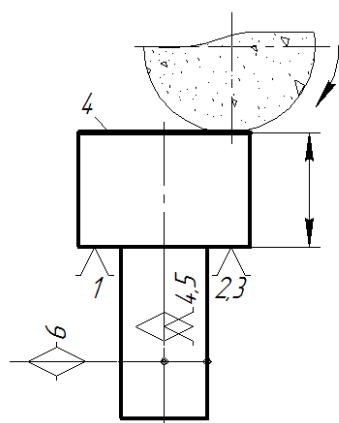
Операция 005. Токарно-винторезная.

1. Подрезать торец 1.
2. Точить поверхность 2.
с подрезкой торца 3.
3. Отрезать заготовку.



Операция 010. Плоскошлифовальная

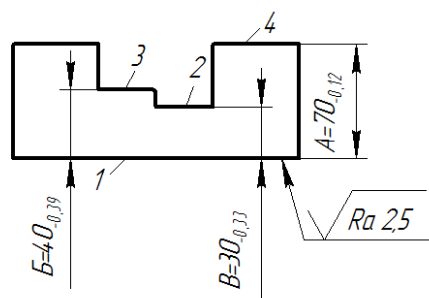
1. Шлифовать пов. 4



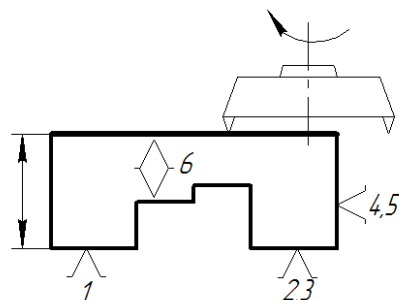
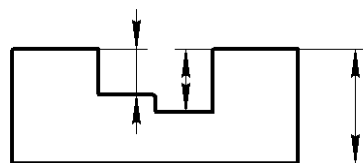
ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№4

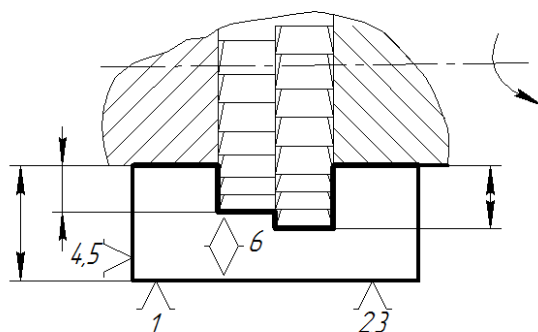
ВКЛАДЫШ



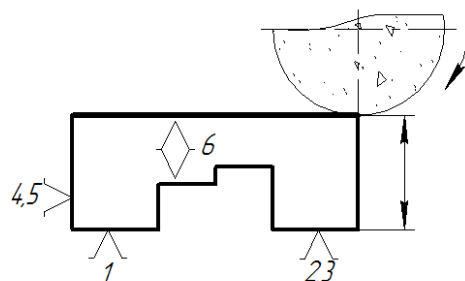
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Вертикально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1



Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2, 3 и 4
набором фрез.



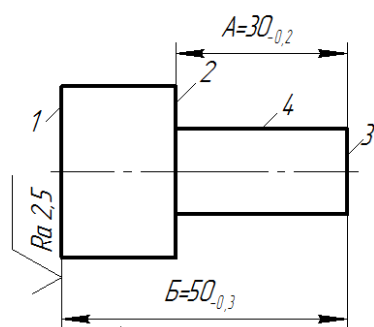
Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№5

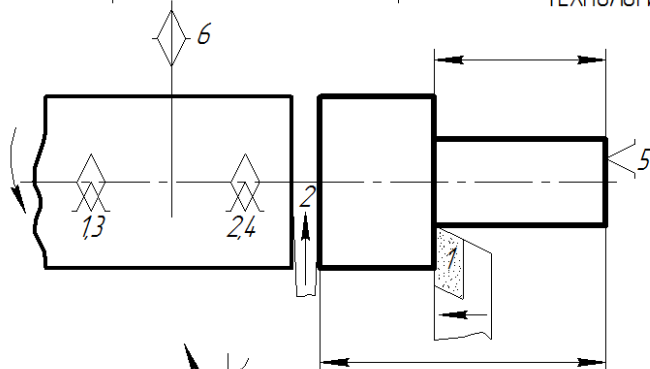
ПА/ЛЕЦ

(заготовка – стальной круглый прокат)

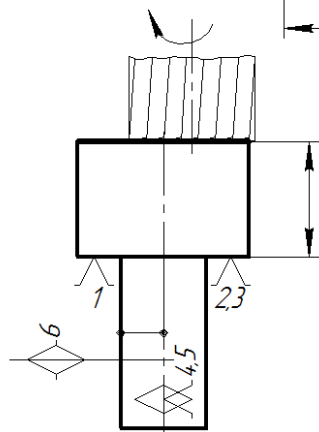


ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

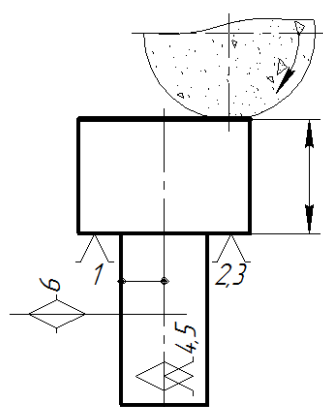
Операция 005. Токарная
1. Точить поверхность 4.
с подрезкой торца 2.
2. Отрезать заготовку.



Операция 010.
Вертикально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1



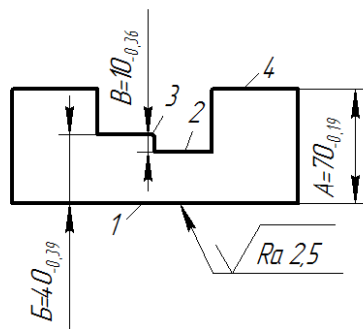
Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1



ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

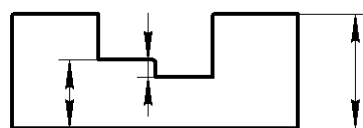
№6

ПОЛЗУН

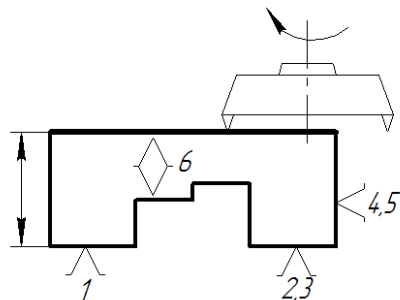


ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

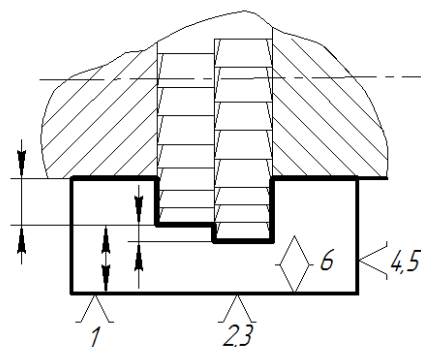
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – отливка из чугуна)



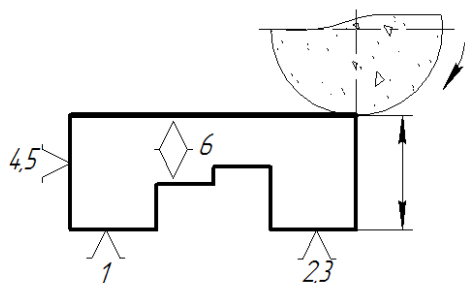
Операция 005.
Вертикально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1



Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2,3 и 4
набором фрез.



Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

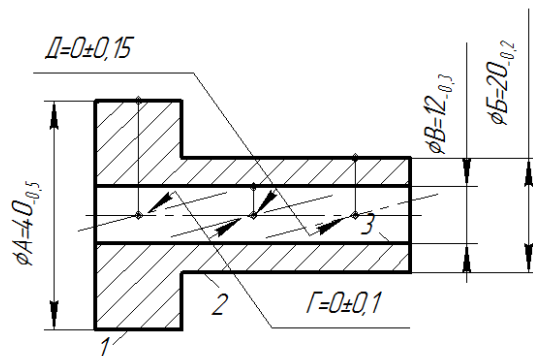


ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№7

ВТУЛКА

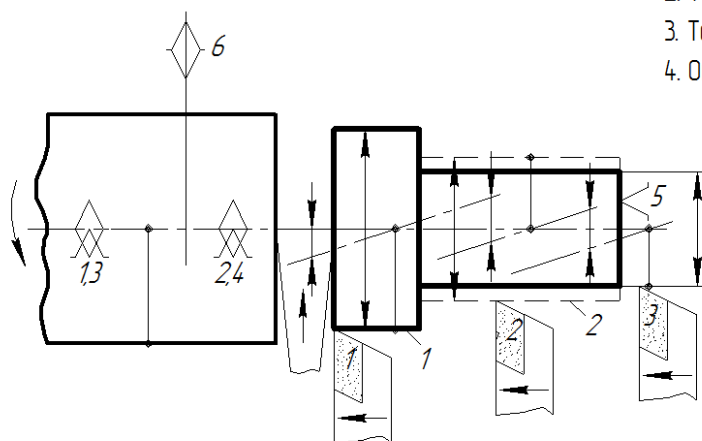
(заготовка – стальной круглый прокат)



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

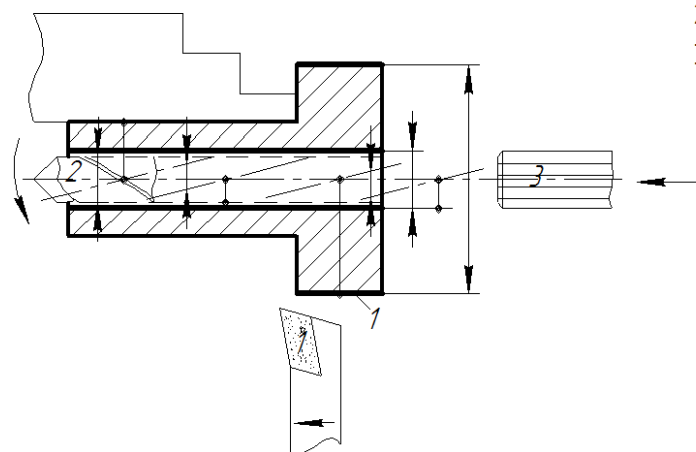
Операция 005. Токарная

1. Точить пов. 1 начерно
2. Точить пов. 2 начерно
3. Точить пов. 2 начисто
4. Отрезать заготовку



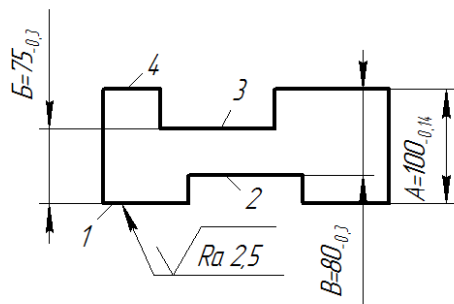
Операция 010. Токарная.

1. Точить пов. 1 начисто
2. Сверлить отверстие
3. Развернуть отверстие



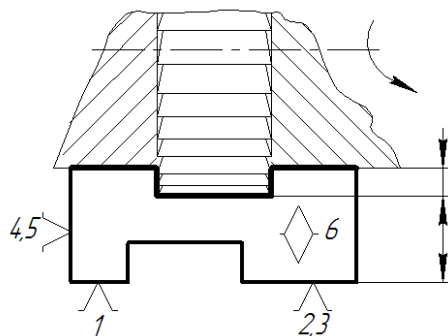
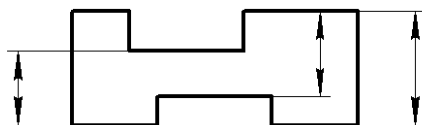
ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№8

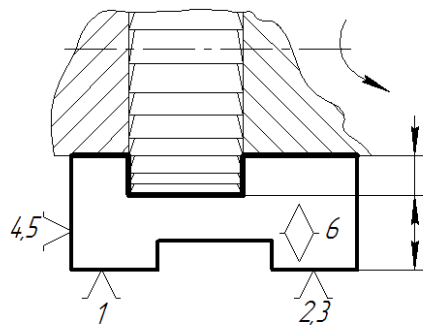


ВКЛАДЫШ

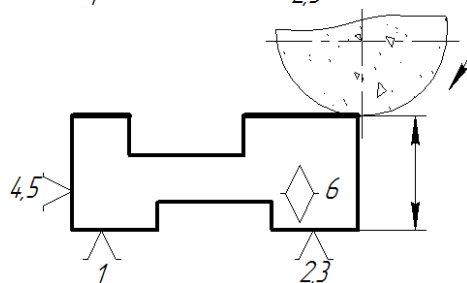
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Горизонтально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1 и 2
набором фрез.



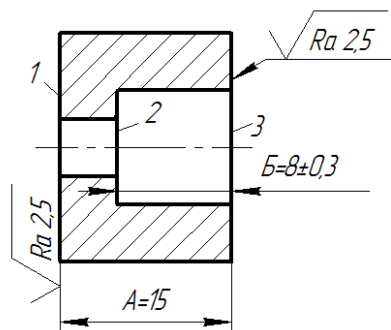
Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 4
набором фрез.



Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

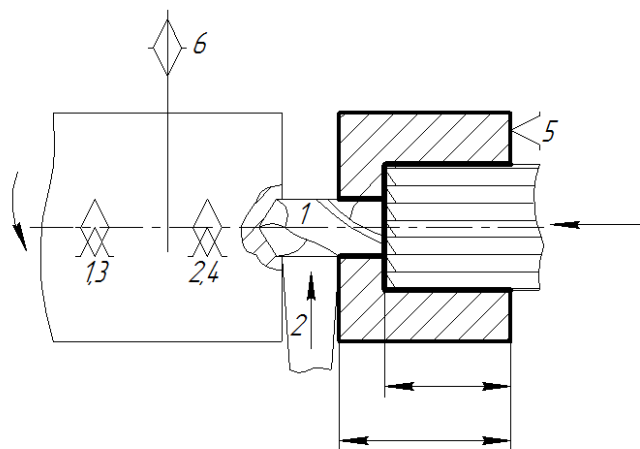
ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№9

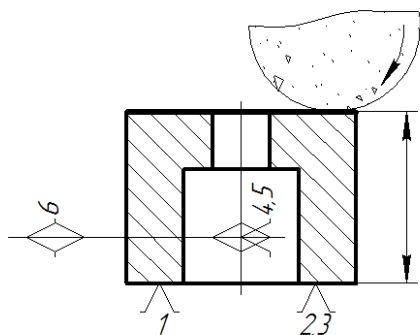


ВТУЛКА
(заготовка – стальной круглый прокат).

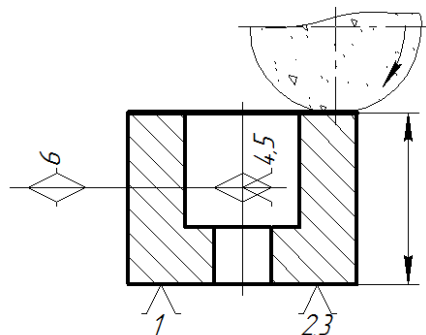
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:



Операция 005.
Токарно-револьверная.
1. Сверлить отверстие
с одновременным зенко-
ванием торца 2.
2. Отрезать заготовку.

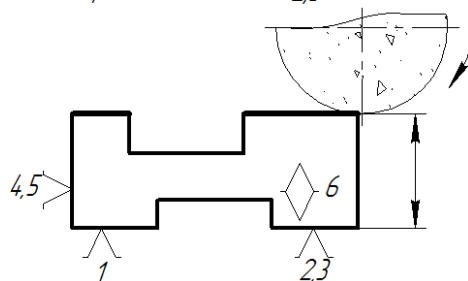
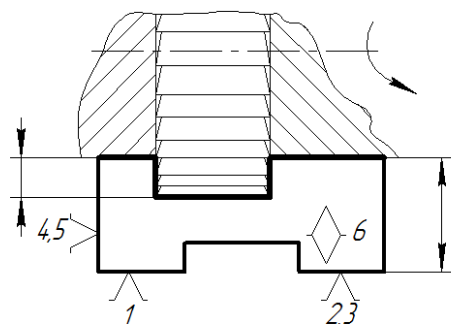
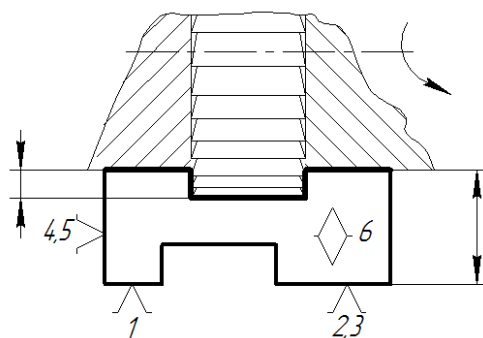
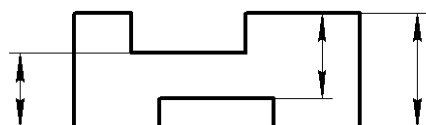
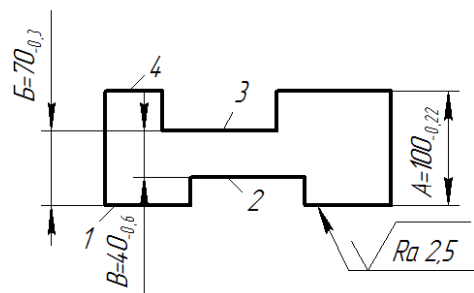


Операция 010.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать торец 1.



Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать торец 3.

ПОЛЗУН



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – отливка из чугуна)

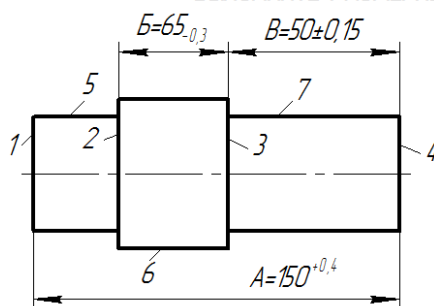
Операция 005.
Вертикально-фрезерная
1. Фрезеровать пов. 1 и 2
набором фрез.

Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 4
набором фрез.

Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

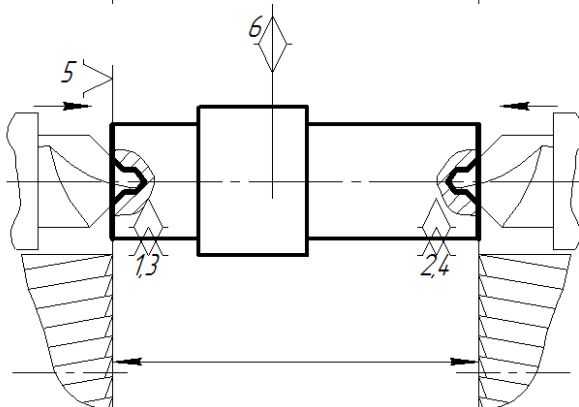
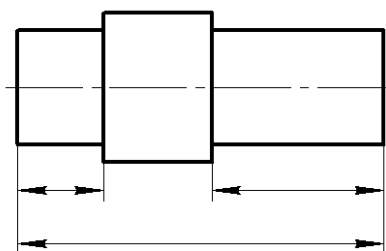
№11



ось

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

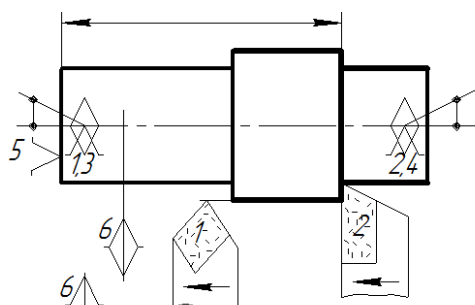
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.

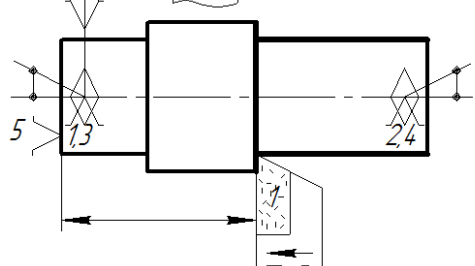
Фрезерно-центровальная.

1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.
2. Центровать отверстия одновременно



Операция 010. Токарная.

1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5 с подрезкой торца 2.



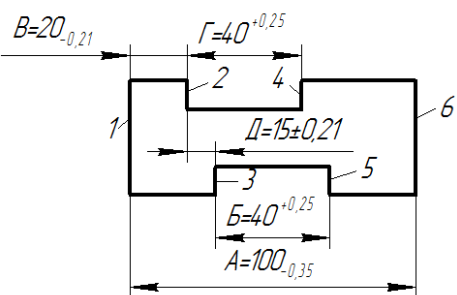
Операция 015. Токарная.

1. Точить пов. 7 с подрезкой торца 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

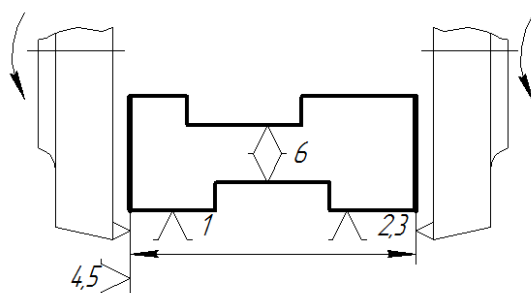
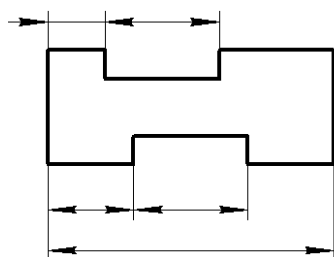
№12

ПО/ЛЗУН

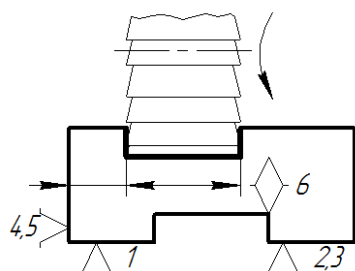


ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

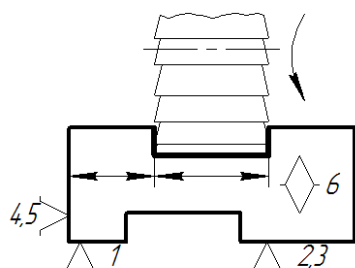
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1 и 6
одновременно.



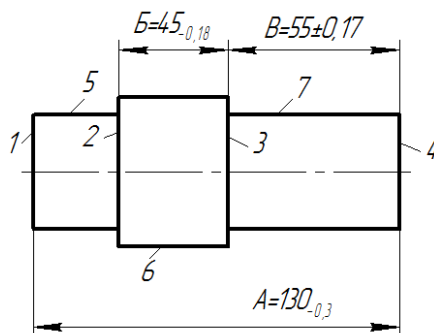
Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2 и 4
одновременно.



Операция 015.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 5
одновременно.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

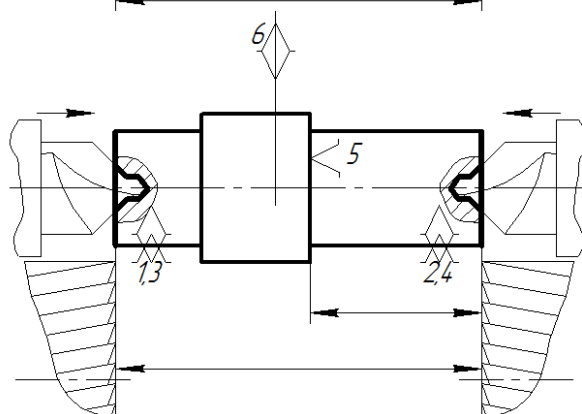
№13



ось

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

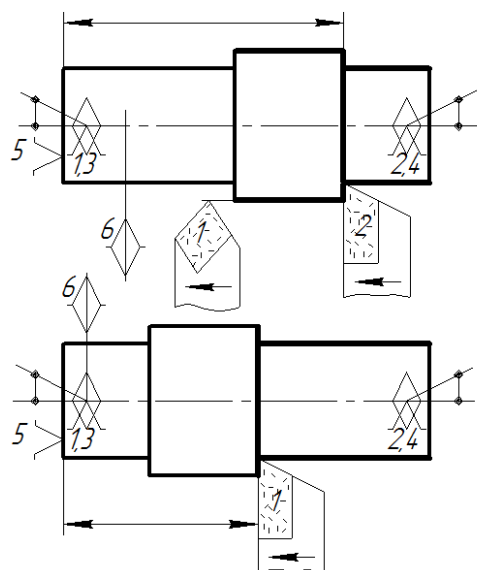
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.

Фрезерно-центровальная.

1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.
2. Центровать отверстия одновременно



Операция 010. Токарная.

1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5 с подрезкой торца 2.

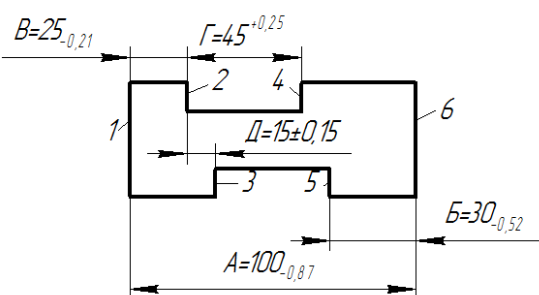
Операция 015. Токарная.

1. Точить пов. 7 с подрезкой торца 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

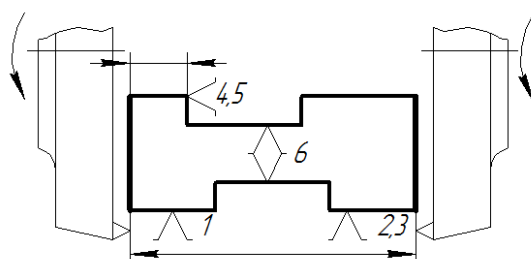
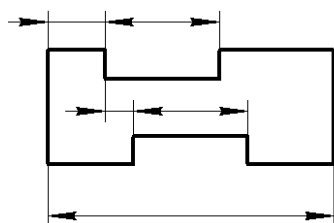
№14

ПОЛЗУН

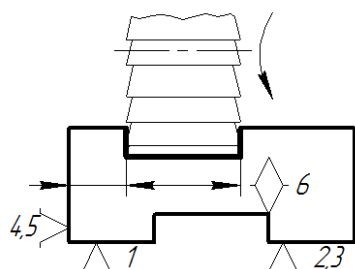


ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

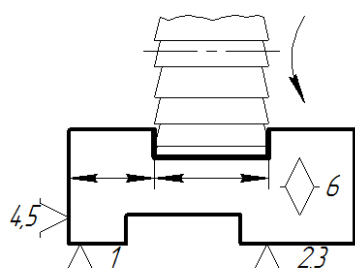
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – отливка из чугуна)



Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1 и 6
одновременно.



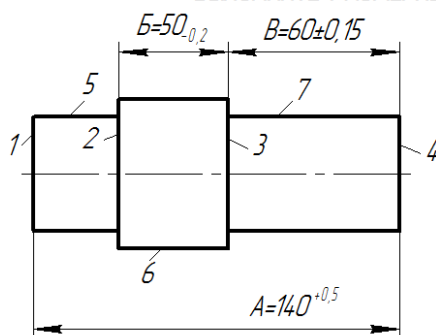
Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2 и 4
одновременно.



Операция 015.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 5
одновременно.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

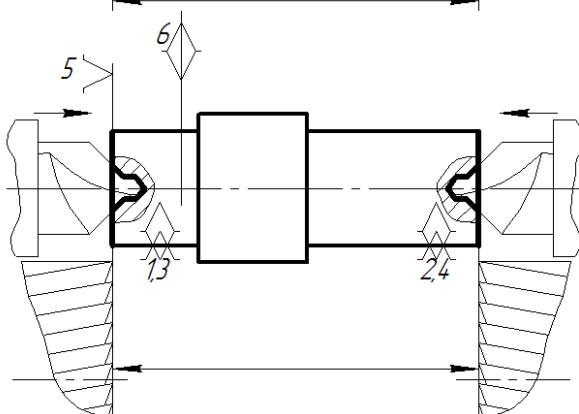
№15



ось

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

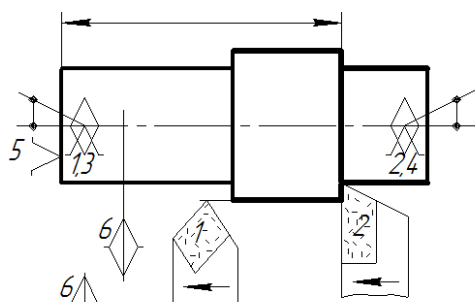
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.

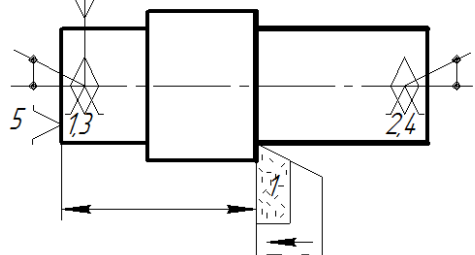
Фрезерно-центровальная.

1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.
2. Центровать отверстия одновременно



Операция 010. Токарная.

1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5 с подрезкой торца 2.

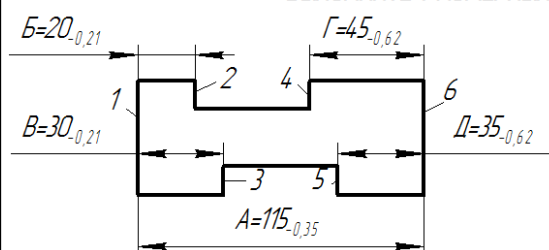


Операция 015. Токарная.

1. Точить пов. 7 с подрезкой торца 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№16



ВКЛАДЫШ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

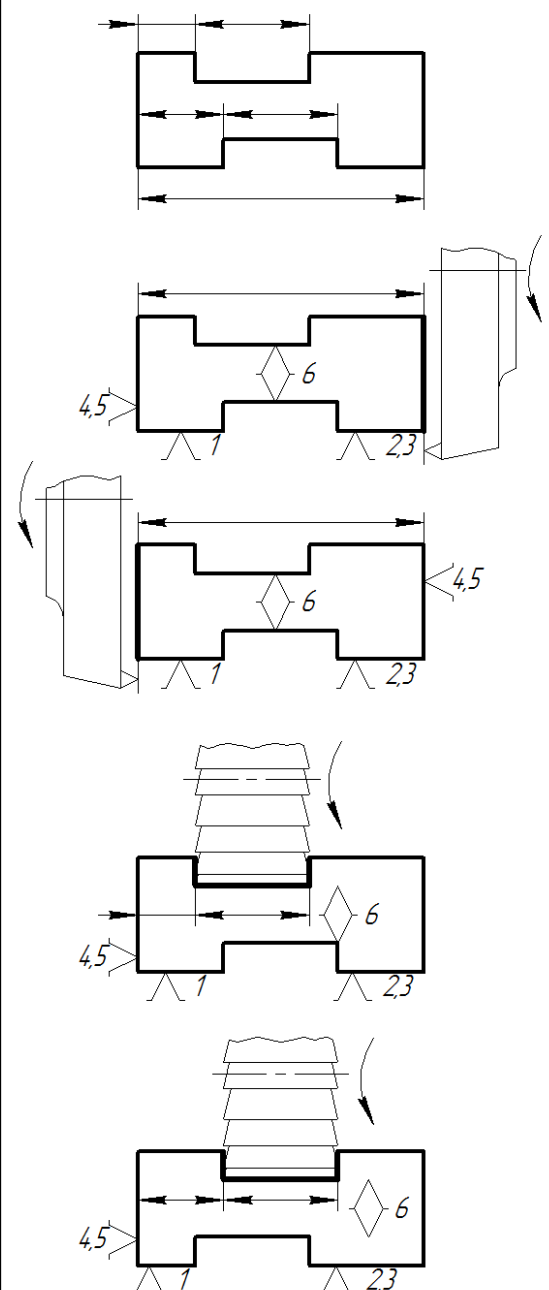
Операция 000. Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)

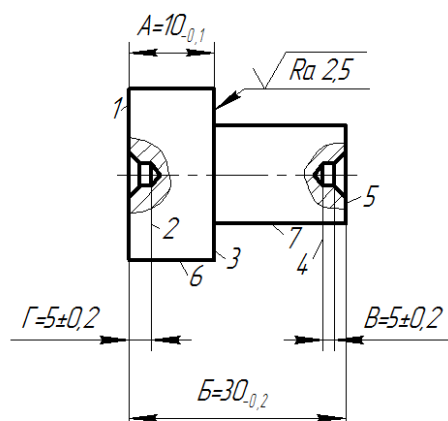
Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 6.

Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1.

Операция 015.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2 и 4
одновременно.

Операция 020.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3 и 5
одновременно.





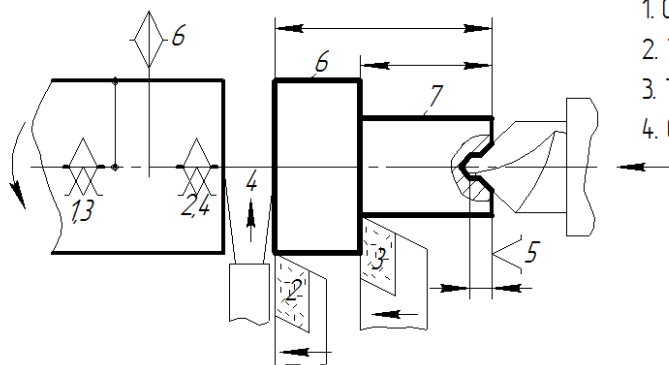
ПАЛЕЦ

(заготовка – стальной круглый прокат)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

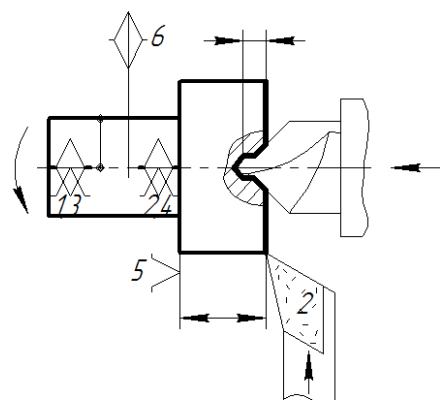
Операция 005. Токарная.

1. Сверлить центровое отверстие.
2. Точить пов. 6.
3. Точить пов. 7.
4. Отрезать заготовку.



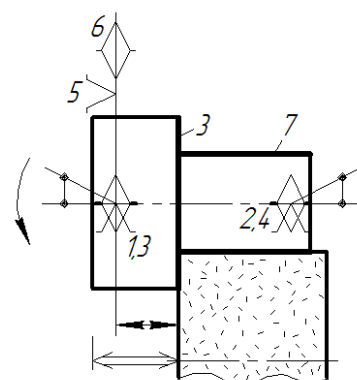
Операция 010. Токарная.

1. Сверлить центровое отверстие.
2. Подрезать торец 1.



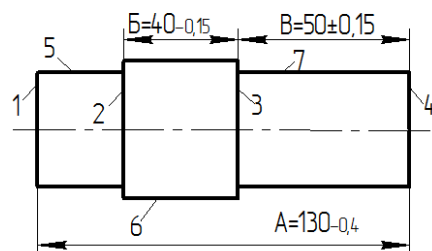
Операция 015. Кругло-шлифовальная.

1. Шлифовать пов. 7 с одновременной шлифовкой торца 3.



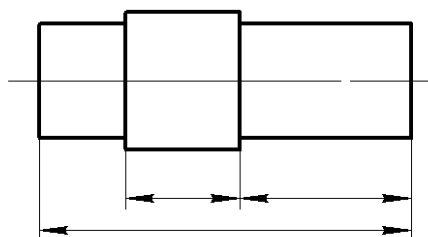
ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№18

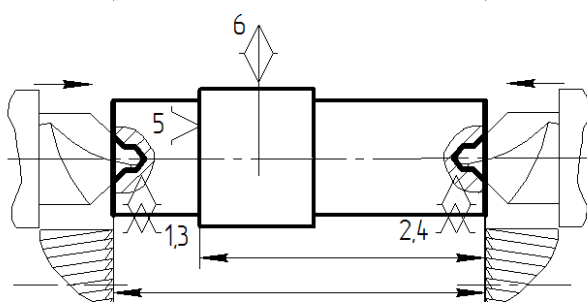


ось

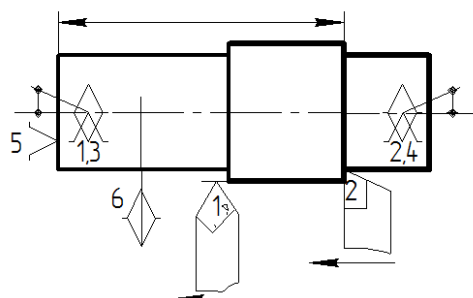
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:



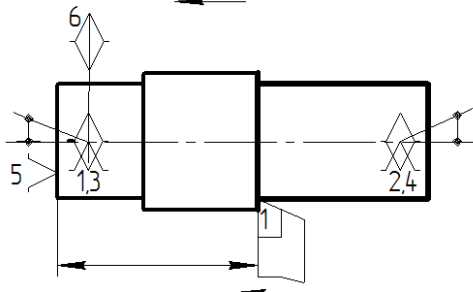
Операция 000. Заготовительная.
(заготовка – стальная поковка).



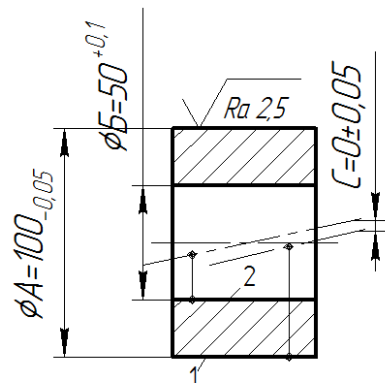
Операция 005. Фрезерно-центровальная.
1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.
2. Центровать отверстия одновременно



Операция 010. Токарная.
1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5 с подрезкой торца 2.



Операция 015. Токарная.
1. Точить пов. 7 с подрезкой торца 3.



ВТУ/КА (ЗАГОТОВКА – СТАЛЬНОЙ КРУГЛЫЙ ПРОКАТ)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

Операция 005.

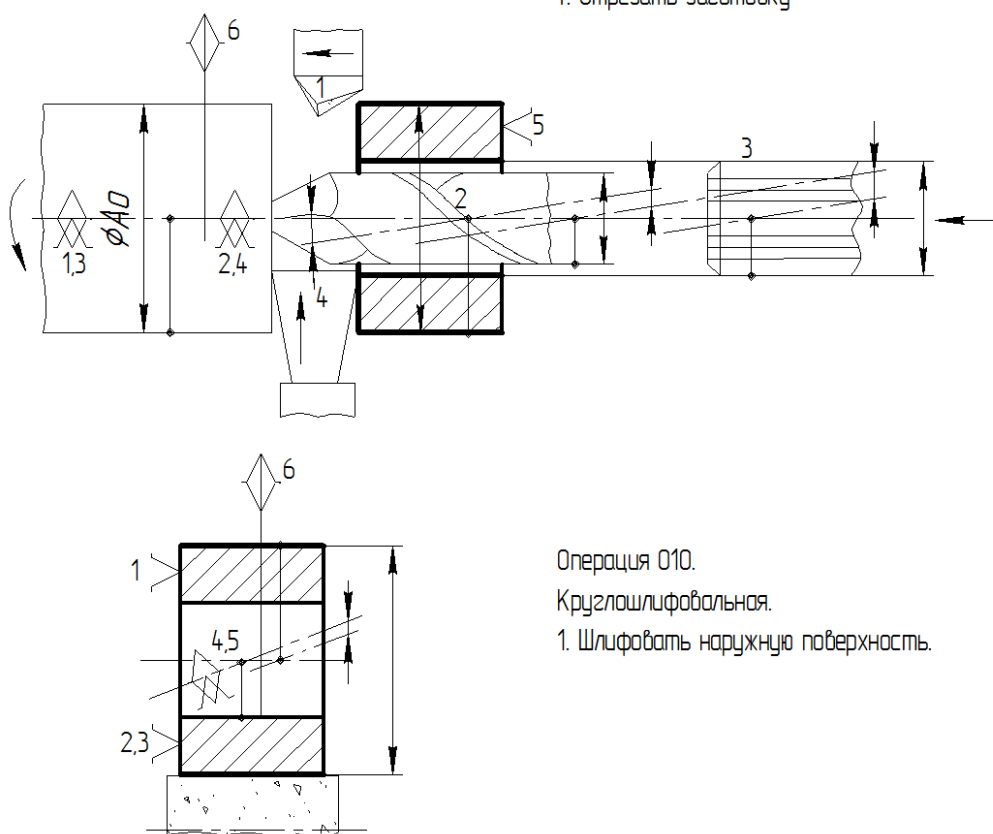
Токарно – револьверная

1. Обточить прут

2. Сверлить отверстие

3. Развернуть отверстие

4. Отрезать заготовку



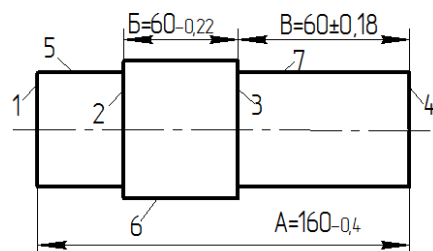
Операция 010.

Круглошлифовальная.

1. Шлифовать наружную поверхность.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

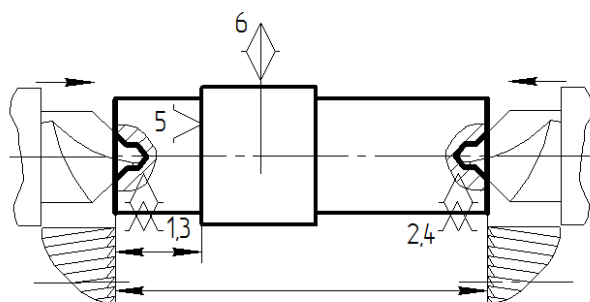
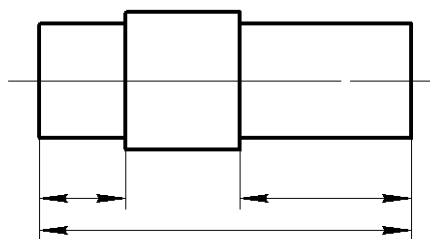
№20



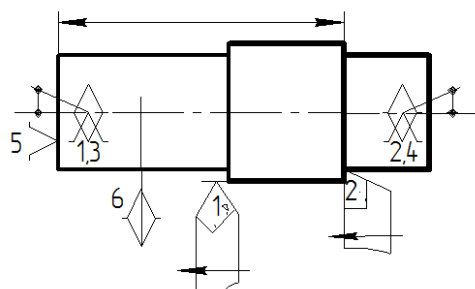
ось

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

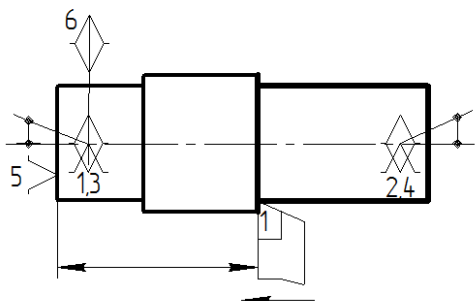
Операция 000.
Заготовительная
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005.
Фрезерно-центровальная.
1. Фрезеровать торцы 1 и 4
одновременно.
2. Центровать отверстия
одновременно



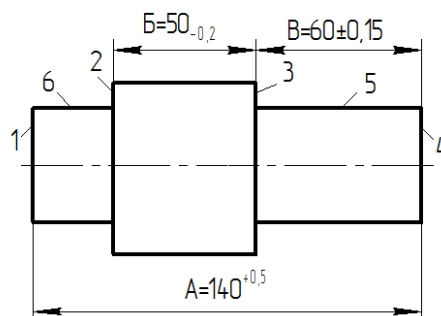
Операция 010.
Токарная.
1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5
с подрезкой торца 2.



Операция 015.
Токарная.
1. Точить пов. 7
с подрезкой торца 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№21

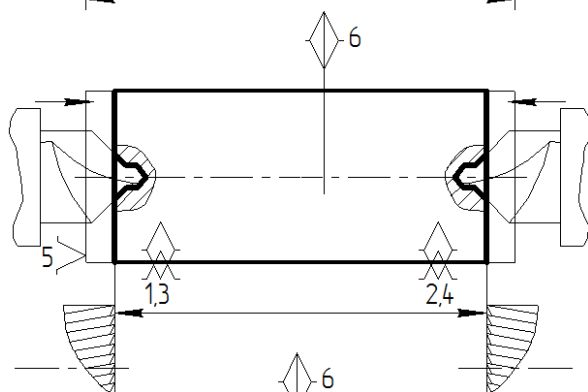
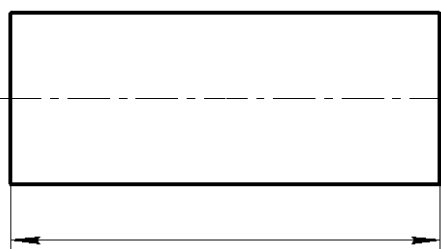


Ось
(заготовка – стальной круглый прокат).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

Операция 005. Отрезная.

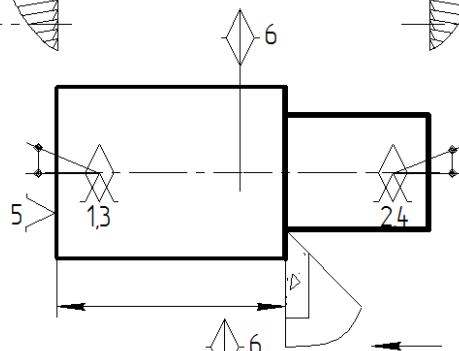
1. Отрезать заготовку из прутка.



Операция 010.

Фрезерно-центральный.

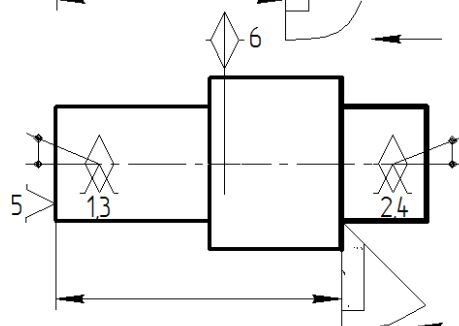
1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.
2. Центровать отверстия одновременно.



Операция 015.

Токарная.

1. Точить пов. 5 с подрезкой торца 3.



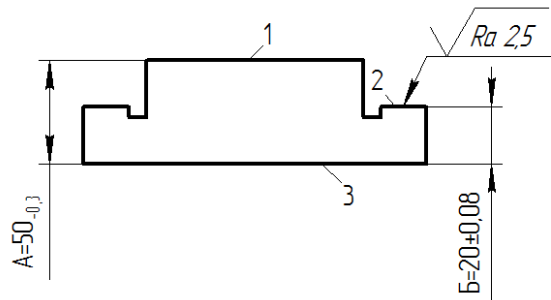
Операция 020.

Токарная.

1. Точить пов. 6 с подрезкой торца 2.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

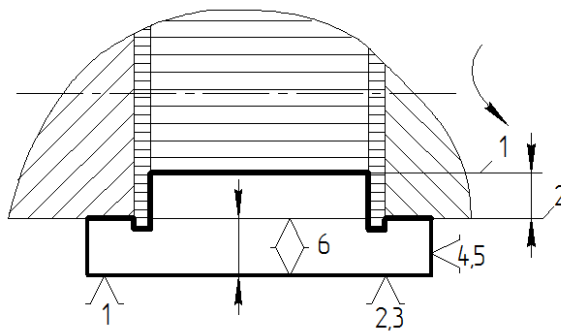
№22



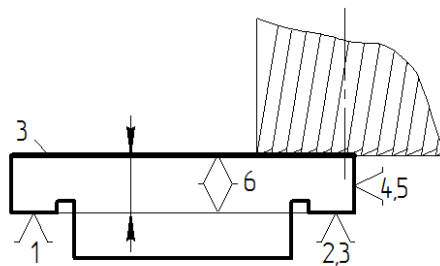
ПО/ЛЗУН
(заготовка-стальной лист)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

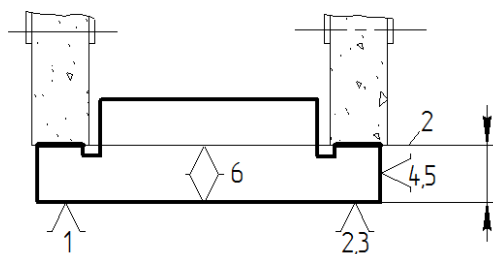
Операция 000. Заготовительная.
1. Вырезать заготовку из листа.



Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1 и 2 набором фрез.



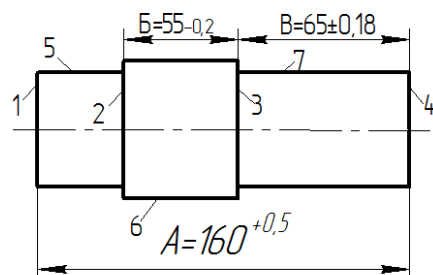
Операция 010.
Вертикально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 3.



Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 2.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

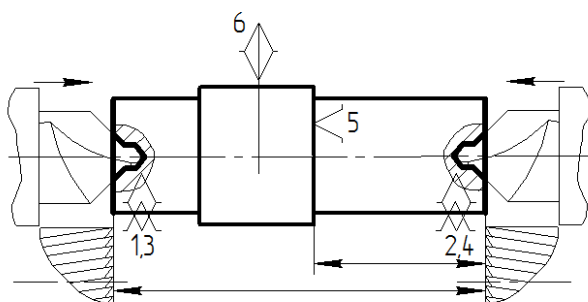
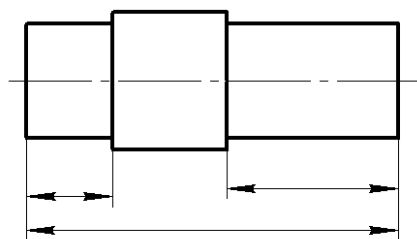
№23



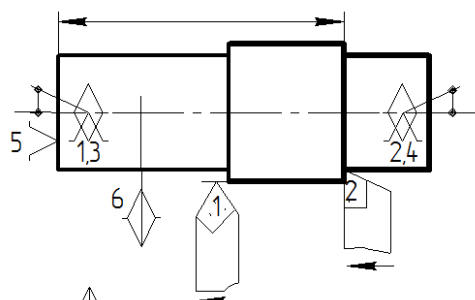
ось

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

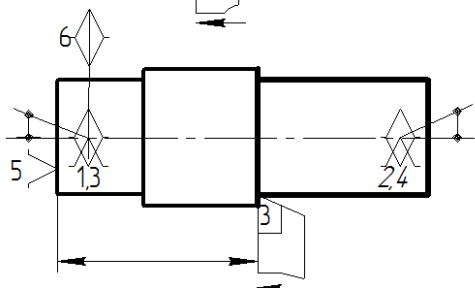
Операция 000. Заготовительная.
(заготовка – стальная поковка)



Операция 005. Фрезерно-центровальная.
1. Фрезеровать торцы 1 и 4 одновременно.
2. Центровать отверстия одновременно



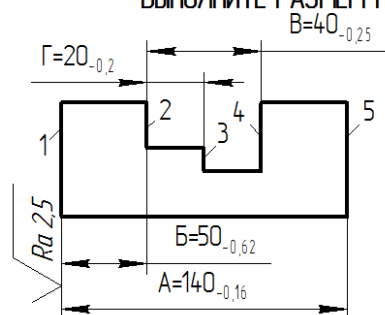
Операция 010. Токарная.
1. Точить пов. 6.
2. Точить пов. 5 с подрезкой торца 2.



Операция 015. Токарная.
1. Точить пов. 7 с подрезкой торца 3.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

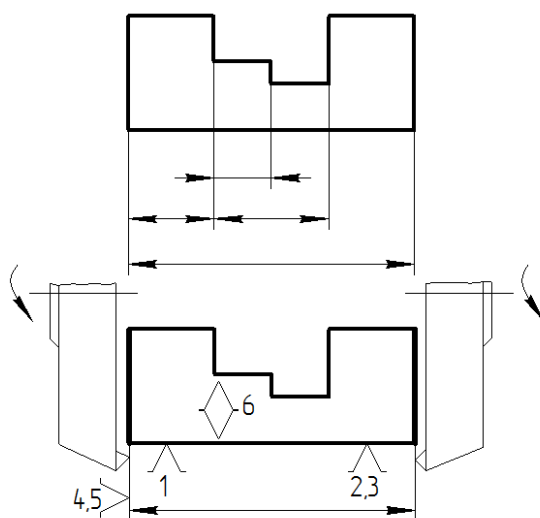
№24



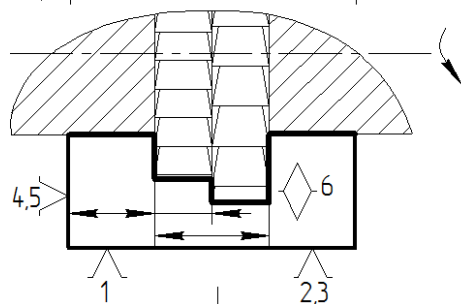
ПОЛЗУН

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

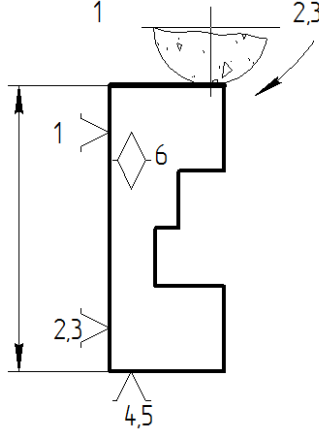
Операция 000. Заготовительная.
(заготовка-отливка из чугуна).



Операция 005.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 1 и 5 одновременно.



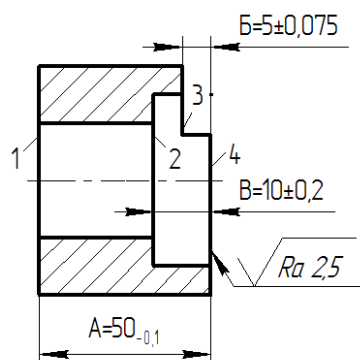
Операция 010.
Горизонтально-фрезерная.
1. Фрезеровать пов. 2,3 и 4 набором фрез.



Операция 015.
Плоскошлифовальная.
1. Шлифовать пов. 1.

ВЫПОЛНИТЕ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА

№25



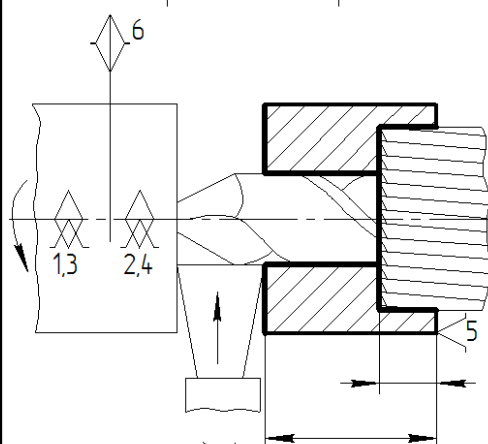
ВТУЛКА

(заготовка – стальной круглый прокат)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ:

Операция 005. Токарно – револьверная.

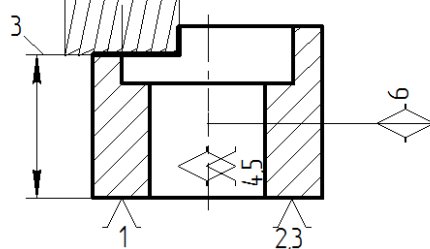
1. Сверлить отверстие с одновременным зенкованием торца 2.
2. Отрезать заготовку.



Операция 010.

Вертикально-фрезерная.

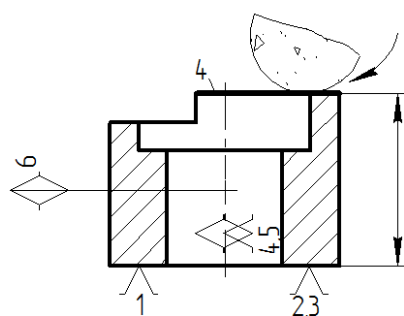
1. Фрезеровать пов.3.



Операция 015.

Плоскошлифовальная.

1. Шлифовать торец 4.



Учебное издание

ПОПОК Николай Николаевич
АБРАМОВ Владимир Иванович

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего
образования по специальностям «Технология машиностроения»,
«Технологическое оборудование машиностроительного производства»*

Редактор *О. П. Михайлова*
Дизайн обложки *М. С. Мухоморовой*

Подписано в печать 02.03.20. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 15,78. Уч.-изд. л. 15,91. Тираж 99. Заказ 66

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.